



NOSITEL  
VYZNAMENÁNÍ  
ZA BRANNOU  
VÝCHOVU  
I. A II. STUPNĚ

## ŘADA PRO KONSTRUKTÉRY

ČASOPIS PRO ELEKTRONIKU  
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ  
ROČNÍK XXXV/1986 • ČÍSLO 6

## V TOMTO SEŠITĚ

Svazarm včera a dnes (dokončení) .....	201
<b>REPRODUKCE</b>	
<b>STEREOFONNÍHO SÍGNÁLU</b>	
1. Úvod .....	202
Směrové slyšení .....	202
Stereofonní reprodukce .....	203
2. Možnosti zapojení reproduktoričových soustav se společnou hlubokotónovou jednotkou .....	204
Zapojení typu Aaž F .....	204
3. Ozvučnice hlubokotónových jednotek .....	205
Výhybky hlubokotónových jednotek .....	206
4. Hlubokotónové jednotky – praktické provedení .....	206
Jednotka o objemu 35 dm <sup>3</sup> .....	207
o objemu 38 dm <sup>3</sup> .....	209
o objemu 66 dm <sup>3</sup> .....	210
o objemu 78 dm <sup>3</sup> .....	212
o objemu 79 dm <sup>3</sup> .....	213
Hlubokotónová jednotka s malým zkreslením .....	215
5. Reproduktoričové soustavy malého objemu .....	216
Jednotka o objemu 2,7 dm <sup>3</sup> .....	216
o objemu 4 dm <sup>3</sup> .....	218
o objemu 5,5 dm <sup>3</sup> .....	219
o objemu 9 dm <sup>3</sup> .....	220
o objemu 12 dm <sup>3</sup> .....	221
6. Třípásmová soustava o objemu 37 dm <sup>3</sup> .....	221
7. Stereofonní sluchátka a jejich vlastnosti .....	225
Tuzemská sluchátka .....	226
Zahraniční sluchátka .....	227
8. Akustická měření .....	230
9. Závěr .....	231
<b>Návrh rozhlasového přijímače (dokončení z minulého čísla) .....</b>	232
Inzerce .....	240

## AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelství NAŠE VOJSKO, Vladislavova 26, 133 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7. Šéfredaktor ing. Jan Klabal, Redakční ředitel ing. J. T. Hyanc, Redaktor L. Kalousek, OK1FAC. Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7, šéfredaktor linka 354, redaktor linka 353, sekretářka linka 355. Ročně výdej 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní předplatné 15 Kčs. Rozšířuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelství NAŠE VOJSKO, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do záhraničí využívají PNS, ústřední expedice a dovoz tisku, závod 01, Kafkova 9, 160 00 Praha 6. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., závod 08, 160 05 Praha 6, Vlastina ulice č. 889/23. Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy po 14: hodině. Číslo indexu 46 044.

Toto číslo má výjít podle plánu 25. 11. 1986.  
© Vydavatelství NAŠE VOJSKO.

# SVAZARM VČERA A DNEŠ

(Dokončení z č. 5)

Dále se předseda ÚV Svazarmu, generálporučík Václav Horáček, ve své zprávě o výsledcích práce Svazarmu při plnění linie XVI. sjezdu KSČ a úkolech svazarmovských orgánů a organizaci po XVII. sjezdu zabýval tím, jak byly splněny záměry a cíle strany a jak je plnit v současnosti a v nejbližší budoucnosti. Uvedl kromě jiného, že požadavkem principiální povahy zůstává rozhodné zdokonalení obsahu a stylu řídicí, výchovné, kádrové a odborně metodické činnosti, soustředěné ve prospěch základních článků Svazarmu. Při této činnosti je třeba uplatňovat všechny pokrokové zkušenosti a nové vedeckotechnické poznatky, volit efektivní přístupy a cesty k masovějšímu a účinnějšímu branné výchovnému působení mezi pracujícími a mládeží. Přitom se ovšem musí sledovat vysoká hospodářnost a efektivní využívání vlastních i přidělených finančních a materiálních prostředků. Především se musí aktivně hledat nové materiální a finanční zdroje pro zájmově brannou činnost, pro provoz a účelné využívání svazarmovských a dalších zařízení, prostorů, kluboven a dílen k masovějšímu branné výchovnému působení Svazarmu. V této souvislosti vzpomenul i nutnosti v zájmu lepšího plnění úkolů upevňovat vztahy se všemi, kteří mají plnit úkoly v JSBPO, v branné propagandě a popularizaci ČSLA, prostředkem upevňování vztahů by měly být i uzavřené dohody o metodické úloze a jiné pomocí zejména se SSM a jeho pionýrskou organizací, ČSTV, ROH a se školami.

Další statě zprávy byly věnovány politickovýchovné práci a s ní související výchově k hrosti na socialistickou vlast. Jak prohlásil předseda ÚV Svazarmu, v této oblasti máme ke spokojenosti ještě daleko. Zatím převažující politickovýchovná statistika by měla ustoupit hodnocení politickovýchovné práce podle jejího přínosu k politickobrannému vědomí, k iniciativní činnosti a aktivnímu vztahu členů k braňným úkolům, k politice strany a k plnění sociálně ekonomických úkolů na pracovišti. Dobrým pomocníkem v politickovýchovné činnosti by se mohly stát i sdělovací prostředky, které by měly informovat o nejlepších zkušenostech z politickovýchovné práce, o jejich hlavních směrech, formách a řízení. Stejně tak by bylo vhodné, kdyby se uveřejňovaly i příčiny nedostatků v této oblasti s východisky k nápravě.

Jedním z hlavních požadavků na naši organizaci byl a je požadavek masového branně výchovného vlivu Svazarmu, což předpokládá cílevědomí a usilovněji využívat spontánního zájmu o jednotlivé odborné činnosti a rozvíjet je žadoucím směrem, neboť všechny branně technické sporty a odbornosti pěstují aktivní vztah k technice, rozšiřují technické myšlení a tvorivost, dovednosti a znalosti

potřebné jak k práci, tak pro službu v armádě, pro brannou připravenost. Zde se předseda ÚV Svazarmu zmínil i o radioamatérství a elektronice. Uvedl, že se zvýšil počet členů, zájem mládeže o rádiový orientační běh a vůbec podíl odbornosti na přípravě branců, spojovacích odborníků. Pokud jde o elektroniku, má na mnoha místech široký, schopný a nadaný aktiv a v celku dobré materiální zázemí. Prudký rozvoj a změny v této oblasti však vyžadují, aby byla svazarmovská elektronika rozvíjena v plném souladu branného poslání a ekonomických možností organizace, aby za podpory rad odbornosti elektronika rychleji pronikala do řízení, výcviku branců a do všech odborností. I zde je však třeba účelně koordinovat postup v rozvoji se SSM a jeho pionýrskou organizací, se školami, ROH atd. v duchu platných rozhodnutí vlády. Plnění koncepce odbornosti a náplň práce krajských kabinetů elektroniky je třeba ovšem vidět v uvedeném žadoucím směru.

Složité byly a jsou i otázky materiálně technického zabezpečení činnosti Svazarmu a jeho odbornosti. I když se materiálně technická základna pro činnost většiny odborností a plnění úkolů branné přípravy rozšířila, chybí v některých odbornostech základní materiály, jako např. v elektronice a radioamatérství. Tyto potřeby se musí řešit ve spolupráci s orgány vlády, s rezorty a výrobci, aby bylo dosaženo většího souladu mezi požadavky Svazarmu a jejich základním krytím. Opět je třeba zdůraznit, že jen maximální hospodářnost, promyšlené využívání prostředků a financí, lepší údržba a ošetřování všech zařízení může přinést požadované výsledky.

Aby mohly být posledně jmenované úkoly splněny, je třeba skoncovat na krajských výborech a na republikových výborech s administrativními přístupy. Předním úkolem výborů je upevňovat vnitřní život stávajících základních organizací a jejich rozmanitou výchovnou, výcvikovou a zájmovou brannou činnost, cílevědomě usilovat o to, aby stále větší počet základních organizací byl skutečným střediskem branně výchovné činnosti.

Zkvalitnit se musí v základních organizacích i individuální práce se členy a jejich uplatnění. Řešit příčiny nezájmu či pasivity je možné jen přes konkrétní práci s jednotlivci, přes využití jejich schopnosti a zálib – tím lze aktivizovat celou členskou základnu. Ovšem ti, co ztratili spojení se základními organizacemi, neplní dlouhodobě základní povinnosti ani přes jednání s námi, nemají, jak praví Směrnice pro členské otázky, v řadách Svazarmu co dělat. Práva a povinnosti pracovat v organizaci,



platit příspěvky a podílet se na plnění úkolů platí i po úpravě stanov, je však třeba přihlížet k tomu, že každý má jiné možnosti a předpoklady.

A na závěr slova předsedy ÚV Svazarmu:

Politickoorganizační a propagační práce se závěry XVII. sjezdu KSČ bude jistě dlouhodobější záležitostí. Stále se k nim budeme vracet, promýšlet a konfrontovat s praxí, výsledky a přístupy, obnovovat si jejich smysl v jednotě s požadavkem VIII. sjezdu a následnými pleny ústředního výboru Svazarmu. Práto i v novém učebním roce branně politického vzdělávání, masové politické práce a školení kádrů počítáme s dalším studiem a propagací, zejména vojenskopolitických otázek sjezdu a požadavků na práci společenských organizací. Pro tuto činnost vydá ústřední výbor i příslušné teze.

Tento přístup ale neznamená, že můžeme otálet s plněním sjezdových úkolů

rozpracovaných do dokumentů dnešního společného zasedání ústředního výboru a republikových ústředních výborů. Vodítkem pro nás jsou slova vyjádřená generálním tajemníkem ÚV KSČ s. Husákem na závěr XVII. sjezdu KSČ, že „tím hlavním nyní je s plnou energií a rozhodností přikročit bezodkladně a všude k důsledné realizaci úkolů, které sjezd přidal. Jde o to, aby se cíle a záměry sjezdu staly zdrojem širokého proudu konkrétních činů, které budou v každém článku naší společnosti znamenat pevnou cestu kupředu, přinášet praktické výsledky.“ Převedeno do naší řeči to znamená kvalitněji provádět přípravu branců, na vysoké ideové, propagační a odborné úrovně uspořádat všechny místní branně sportovní akce, vrcholné závody a mezinárodní soutěže konané v ČSSR.

Všechno co děláme letos a budeme dělat v příštích letech by mělo být pro dchnuto duchem činorodého socialistického

kého vlastenectví a internacionálu, odpovědného vztahu a praktické podpory vnitřní a zahraniční politiky KSČ a státu.

Významnou příležitostí dobre se prezentovat dosaženými výsledky práce, ukázat angažovanou úlohu a činnost Svazarmu ve společnosti je pro nás nadcházející 35. výročí jejího vzniku. Věci cíti a odpovědnosti každého kolektivu by mělo být kvalitní splnění přijatých socialistických závazků na jeho počest.

Hlavním měřítkem našeho poctivého vztahu ke Komunistické straně Československa, jejímu politickému programu přijatému na XVII. sjezdu strany a hrosti na příslušnost k branné organizaci učíme nové, tvůrčí činy a výsledky v plnění úkolů branné výchovy, vojenské připravenosti naší země v pevném svazku se státy Varšavské smlouvy, jejich lidem, armádami a bratrskými brannými organizacemi, v přínosu k rozvoji a obraně naší vlasti – ČSSR.

# REPRODUKCE STEREOFONNÍHO SIGNÁLU

Ing. Jaroslav Bárta, Ing. Mirčo Jončev

## 1. Úvod

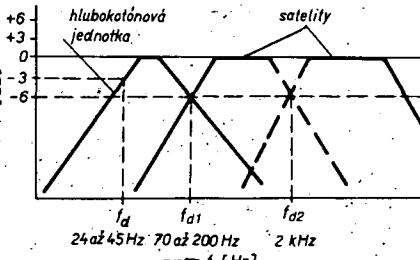
Reprodukторová soustava je posledním článkem elektroakustického řetězce. Jejím velmi náročným úkolem je přeměnit elektrický nízkofrekvenční signál z výkonového zesilovače na akustický signál, vnímaný posluchačem, co nejvěrněji vzhledem k originálnímu obrazu v místě jeho vzniku. Až současná pokročilá technika nenašla konstrukční řešení reproduktoru, který by mohl věrně přenést celé kmitočtové pásmo, slyšitelné při původním zvukovém obrazu v koncertním sále. Dokonalý přenos nízkých tónů (varhany, kontrabás) vyžaduje reproduktor o velkém průměru membrány, s dostatečnou poddajností kmitačního systému, který umožňuje velký rozsah membrány. Takový reproduktor má ovšem velkou hmotu kmitačního systému, a proto nemůže vyzářit vysoké tóny s potřebnou účinností a požadovanou směrovou charakteristikou. Naopak účinně vyzařování vysokých tónů vyžaduje konstruovat reproduktor malých rozměrů, s malou hmotou kmitačního systému, který ovšem z fyzikálních důvodů nemůže s potřebnou účinností vyzářit nízké tóny.

Sébedokonalejší jediná reproduktorská soustava nemůže vytvořit dojem bezprostředního poslechu, protože bude vždy chybět prostorovou orientaci, pokud ide o rozložení jednotlivých zdrojů akustického signálu. Prostorovou orientaci zajistíme pouze stereofonní reprodukci signálu. Nejjednodušší a zároveň nejpoužívanější je dvoukanálová stereofonní reprodukce, pro jejíž realizaci používáme dvě reproduktorské soustavy.

V poslední době se v technické dokumentaci zahraničních výrobců kromě klasických pasivních nebo aktivních reproduktorských soustav, určených pro stereofonní reprodukci, objevují reproduk-

torové kombinace se společnou hlubokotónovou jednotkou, zvanou *subwoofer*. Jak vyplývá ze samotného názvu téhoto reproduktorských soustav, jde o to, vytvořit společný reprodukční kanál pro zpracování signálů nízkých kmitočtů. Jednotlivé způsoby vytvoření společného (monofonního) signálu budou popsány v samostatné kapitole.

Hlubokotónové jednotky (subwoofer) o objemu 25 až 200 dm<sup>3</sup> jsou určeny pro přenos akustických signálů od asi 25 až 45 Hz (podle použitého hlubokotónového reproduktoru a objemu ozvučnice) do kmitočtu  $f_d = 70$  až 200 Hz. Od kmitočtu  $f_d$  pracují dvě reproduktorské soustavy menšího objemu (2 až 20 dm<sup>3</sup>), tzv. *satelity*, které jsou zpravidla řešeny jako dvouzápadové a přenášejí zbyvající část akustického pásmá, tj. signály až k kmitočtům 18 až 20 kHz. Tyto soustavy zabezpečují stereofonní reprodukci signálu. Názorné rozdělení akustického pásma pro jednotlivé soustavy je na obr. 1. Vzájemným



Obr. 1. Rozdělení akustického pásma mezi hlubokotónovou jednotku a satelity

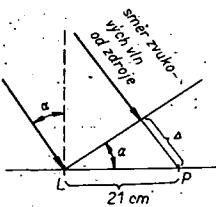
propojením hlubokotónové jednotky se dvěma reproduktorskými soustavami menšího objemu vzniká stereofonní reprodukční zařízení nové koncepce.

Pro názornější pochopení činnosti výše popsaných reproduktorských soustav si osvětlíme základní fyzikální principy směrového slyšení, všeobecného účinku hlubokotónových reproduktorů a stereofonní reprodukce.

## Směrové slyšení

Směrové slyšení je komplexní děj, přinášející informaci o umístění zvukového zdroje v prostoru a to určením směru a odhadem vzdálenosti. Je založeno na binaurálním slyšení (slyšení oběma ušima), přičemž se uplatňuje celá řada činitelů. Je-li zvukový zdroj stranou od posluchače, přichází zvuk k jednomu uchu dříve než k druhému. Cím více je zdroj zvuku stranou vzhledem k posluchači, tím větší je časový rozdíl v příjmu zvukových vln, které přicházejí do pravého a levého ucha a tím silnější je posluchačův pocit, že je zdroj zvuku vychýlen z roviny souměrnosti obou uši. Cítivěji dovedeme zjistit, je-li od nás vlevo nebo vpravo, než je-li nad námi nebo pod námi.

U krátce trvajícího zvukového signálu je pro určení rozdělující časový rozdíl  $\Delta t$  mezi okamžíky, kdy zvukový signál dojde k levému uchu L a pravému uchu P (obr. 2). Je-li  $\Delta t = 0$ , leží zdroj zvuku ve střední rovině. Je-li  $\Delta t = 21$  cm (průměrná vzdálenost uší) a je-li zdroj zvuku vpravo nebo vlevo na prodloužené úsečce LP, je časové zpoždění mezi body L a P 0,6 ms pro rychlosť šíření zvuku ve vzduchu 340 m/s. Člověk je schopen rozpozнат při sledu krátkých impulsů časový rozdíl ještě 50  $\mu$ s, tedy velmi malý rozdíl.



Obr. 2. Vliv polohy zdroje při dopadu zvukových vln do levého a pravého ucha

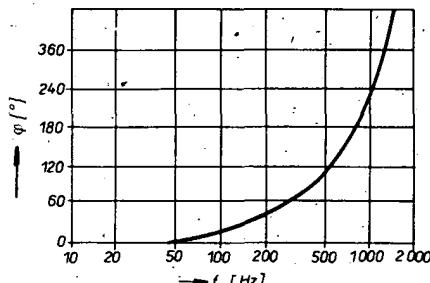
Při déle trvajících zvucích se musí počítat časová diference tak, že se mění rozdíl mezi okamžíky, ve kterých se v levém a v pravém uchu objevuje signál

stejné fáze. Fázový úhel mezi signály, přicházejícími do levého a pravého ucha, je ve stupních dán vztahem

$$\varphi = \frac{360\Delta}{\lambda}$$

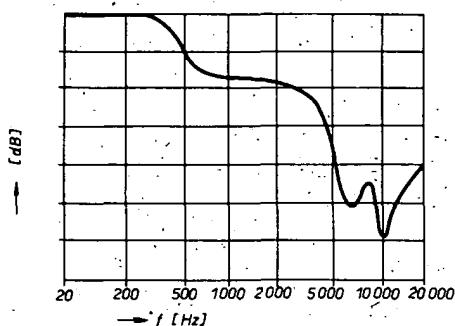
kde  $\Delta$  je rozdíl vzdáleností zdroje a „přijímače“ signálu a  $\lambda$  vlnová délka přijímaného signálu.

Na obr. 3 vidíme, že se fázový rozdíl zvětšuje se zvyšujícím se kmitočtem. Na nízkých kmitočtech je malý a můžeme ho tedy zanedbat.



Obr. 3. Fázový rozdíl zvukové vlny v levém a pravém uchu v závislosti na kmitočtu při dopadu zvukové vlny ze strany

Je-li akustický zdroj umístěn ve střední rovině, dopadá zvuková energie do obou uší ve stejně intenzitě. Odchýlí-li se od střední roviny, je intenzita signálu v každém uchu jiná a zdroj zvuku je lokalizován ve směru větší intenzity. Rozdíl intenzit je způsoben jednak tím, že ucho přivrácené ke zdroji je k němu blíže (pro blízké zdroje), a jednak akustickým stínem hlavy. Akustický stín se může uplatnit jen u tónů vysokých, pro něž je hlava dostatečnou překážkou, tj. v případech, kdy se vlnová délka blíží nebo je menší než rozměr hlavy. Tóny do 200 Hz ze vzdálených zdrojů přicházejí do obou uší se stejnou intenzitou. Jak je patrné z obr. 4, rozdíl intenzit se projevuje zejména u signálů vysokých kmitočtů. Protože je větší-



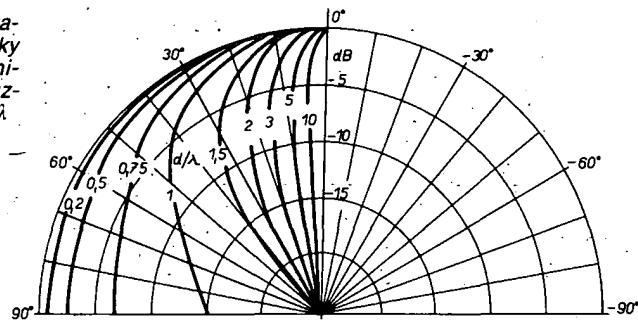
Obr. 4. Rozdíl intenzit zvuku v levém a pravém uchu při zvukové vlně přicházející ze strany jednoho ucha

na stereofonních snímků kvůli možnosti monofonního přehrávání pořízena tzv. intenzivní nahrávkou (chybí informace o fázi a časovém zpoždění), je u nich směrová informace pro nízké kmitočty prakticky potlačena. Nic se proto nestane, když její přenos zanedbáme i na straně reprodukce, zvláště přinese-li to ekonomické nebo jiné praktické výhody.

#### Všesměrový účinek reproduktoru

Z hlediska elektroakustických vysílačů je možné považovat hlubokotónový reproduktor za kruhovou, pistově kmitající desku, umístěnou v nekonečné ozvučnici. Budeme-li řešit hlubokotónovou jednot-

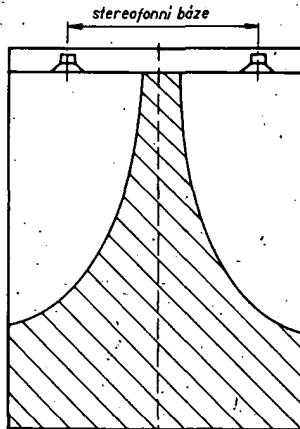
Obr. 5. Směrové vyzářovací charakteristiky kruhové pistově kmitající desky při různých poměrech  $d/\lambda$



ku (subwoofer) s dělicím kmitočtem  $f_{d1} = 200$  Hz, pak pro ucelenou řadu reproduktoru TESLA s aktivními průměry membrán  $d = 165$  až 390 mm vychází poměr  $d/\lambda = 0,1$  až 0,22. Ze směrových charakteristik kruhové pistově kmitající desky, umístěné v nekonečné ozvučnici, jak názorně vidíme na obr. 5, lze při uvedených poměrech s rezervou považovat dělicího kmitočtu  $f_{d1} = 200$  Hz hlubokotónový reproduktor za všeobecný zářič. Z toho tedy vyplývá, že se v žádném případě nemůže porušit stereofonní vjem v oblasti optimálního poslechu.

#### Stereofonní reprodukce

Stereofonní reprodukce má své zvláštní podmínky, k nimž musíme pro zachování kvalitního poslechu přihlížet. Patří sem především okolnost, že se oblast optimálního poslechu nerozprostírá po celém půdorysu poslechového prostoru, ale je zhruba vymezena tvarom naznačeným na obr. 6.



Obr. 6. Oblast optimálního poslechu (vykárována plocha)

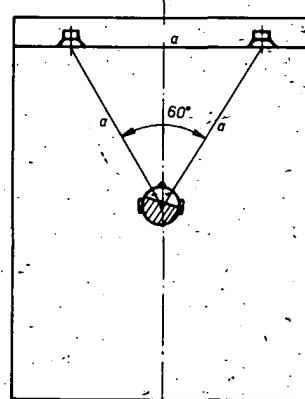
Základní tvar optimální poslechové oblasti a přesnost směrové lokalizace může mít vliv na šířku báze, volbou reproduktoru a jejich natáčením. Pro změnu optimální poslechové oblasti změnou šířky báze platí obecně, že čím větší báze, tím širší optimální poslechová oblast. Při běžné šířce báze v domácích poslechových prostorech (asi 2 až 4 m) je optimální poslechová oblast při poměrně malém rozestupu reproduktoru velmi úzká a nemusí někdy dosáhnout ani ve větší vzdálenosti samé šířky báze. Hranice optimální oblasti poslechu mají základní tvar hyperbolický.

Rozšíření oblasti optimálního poslechu dosahneme také vhodnou volbou reproduktoru a jeho umístění. Platí, že čím je soustava lepě směrově využitá, tím širší poslechového prostoru dosáhnete.

Do jisté míry má na šířku poslechové oblasti vliv i změna úhlu mezi oběma

reproduktoři. Za určitých podmínek platí, že vzájemné odklonění reproduktoru a soustavu dává širší oblast poslechu, přičemž se rozšiřuje i oblast optimálního poslechu. Tato závislost není však jednoznačná, záleží na mnoha činitelích (směrových charakteristik, šířce poslechového prostoru a na jeho akustických vlastnostech atd.). Je tedy třeba za daných podmínek vyzkoušet, pod jakým úhlem mají být reproduktory orientovány vzhledem k posluchači.

Je známo, že nejpřesnější směrové lokalizace dosáhneme, bude-li posluchač naslouchat právě v geometrické ose reproduktoru. Kvalita poslechu a přesnost směrové lokalizace bude záviset i na vzdálenosti od reproduktoru. Zde platí, že místo optimálního poslechu tvorí s oběma reproduktory soustavami rovnostranný trojúhelník (obr. 7).



Obr. 7. Místo optimálního poslechu

Jestliže úhel, který svírají přímky, procházející místem poslechu a body, v nichž jsou umístěny reproduktory, je následkem přílišné vzdálenosti od báze menší než 45°, dochází již k částečné ztrátě prostorové informace. Je-li naopak úhel příliš velký, objevuje se uprostřed poslechového prostoru hluchý prostor, v němž je možné lokalizovat pouze signály středních kmitočtů a ostatní jsou lokalizovány v reproduktorech soustavách, přeskakují z jedné do druhé („pingpongový efekt“).

Stejně zásady pro rozmístění reproduktoru platí i pro reproduktory kombinace se společnou hlubokotónovou jednotkou. Jen s tím rozdílem, že samostatná hlubokotónová jednotka (subwoofer) může být díky všeobecnosti hlubokotónového reproduktoru a správné volbě dělicího kmitočtu (do 200 Hz) umístěna teoreticky kdekoli v poslecho-

vém prostoru, dáváme však přednost poloze v blízkosti satelitních jednotek.

V případě, že bude hlubokotónová jednotka příliš daleko od obou satelitů, může vzniknout fázové zpoždění signálů mezi jednotlivými jednotkami. Stereofonní lokalizaci zajišťují dvě reproduktory soustavy malého objemu (satelity), vyžádající signály středních a vysokých kmitočtů.

Nejen teoretické zdůvodnění užití reproduktoričkových kombinací se společnou hlubokotónovou jednotkou, které jsme se v omezeném a zjednodušeném pohledu pokusili popsat, ale i velké množství praktických experimentálních prací svědčí o použitelnosti této ekonomicky výhodné koncepce.

## 2. Možnosti zapojení reproduktoričkových soustav se společnou hlubokotónovou jednotkou

Vzájemné rozdíly mezi různými typy reproduktoričkových soustav se společnou hlubokotónovou jednotkou spatřujeme zejména v tom, jak je společný (monofonní) signál pro společnou hlubokotónovou jednotku vytvořen. Rozlišujeme dva odlišné způsoby, a to elektrické a akustické sčítání signálu levého a pravého kanálu stereofonního zesilovače.

Elektrický způsob spočívá v použití aditivního členu, kterým jsou v konkrétním případě rezistory nebo autotransformátory. Po sečtení signálů, kmitočtově omezení dolní propusti a zesílení je signál přiváděn na jeden nebo dvojici hlubokotónových reproduktorů, zapojených paralelně nebo sériově.

Druhý způsob je akustický – po kmitočtovém omezení signálů levého a pravého kanálu stereofonního zesilovače dolními propustmi přiváděme ke každému hlubokotónovému reproduktoru signál zvlášť a vzájemnou interferencí se signály z každého reproduktoru akusticky sčítají.

Dále je podstatné, zda zvolíme pasivní nebo aktivní reproduktoričkovou kombinaci. Na výhody a nevýhody jednotlivých možností zapojení budou čtenáři upozorněni v následujícím přehledu blokových zapo-

jení reproduktoričkových kombinací se spo- lečnou hlubokotónovou jednotkou.

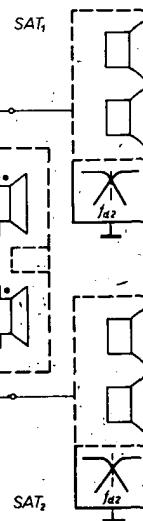
děn přes horní propusti k satelitům (SAT 1 a SAT 2).

Pro zachování správných impedančních poměrů v reproduktoričkovém zařízení musí být impedance hlubokotónové jednotky poloviční než je impedance satelitů.

Nedostatkem tohoto zapojení je to, že v případě různé citlivosti satelitních jednotek a hlubokotónové jednotky neumožňuje regulovat výstupní signál na stejnou úroveň.

## 2.3 Zapojení typu C

Z obvodového hlediska je toto zapojení nejednodušší, liší se však zásadně od předchozích v tom, že součtový signál pro napájení hlubokotónové jednotky je vytvořen akusticky složením signálu levého



Obr. 10. Blokové schéma zapojení kombinace typu C

a pravého kanálu přivedeného k jednotlivým reproduktoričkovým umístěným ve společné ozvučnici vedle sebe. Odpadá tedy sčítací prvek předešlého typu (viz obr. 9), neboť v obou předchozích typů se součtový signál pro napájení hlubokotónové jednotky vytvářel elektricky.

Z výstupu levého a pravého kanálu běžného stereofonního zesilovače se signál přivádí přes dolní propusti k jednotlivým reproduktoričkovým, umístěným v hlubokotónové jednotce (SUB). Přes horní propusti prochází signál zároveň k satelitům (SAT 1 a SAT 2 – viz obr. 10).

Z impedančního hlediska musí být impedance hlubokotónových reproduktoričkových jednotek stejná jako impedance satelitních jednotek.

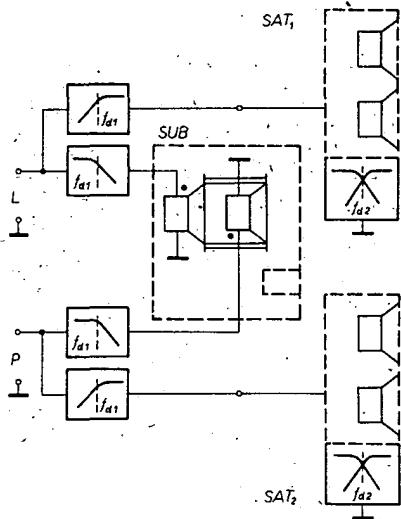
Jako velkou přednost tohoto zapojení lze označit jednoduchost a možnost připojení k jakémukoli stereofonnímu zesilovači. Mezi nevýhodu lze počítat v případě nestejných citlivostí hlubokotónové jednotky a satelitů nemožnost výrovnání. Konstrukčního hlediska je při požadavku nižšího dolního kmitočtu hlubokotónové jednotky mírnou nevýhodou příliš velký objem ozvučnice. V porovnání s jedním reproduktorem při zachování stejněho dolního kmitočtu musí být objem dvojnásobný.

## 2.4 Zapojení typu D

Toto zapojení je po elektrické stránce shodné s typem C. Rozdíl je pouze v akustickém hledisku, neboť místo uspořádání reproduktoričkových jednotek vedle sebe jsou reproduktoričkové jednotky umístěny v tandemu (obr. 11). Toto má

Obr. 8. Blokové schéma zapojení kombinace typu A

Obr. 9. Blokové schéma zapojení kombinace typu B



Obr. 11. Blokové schéma zapojení kombinace typu D

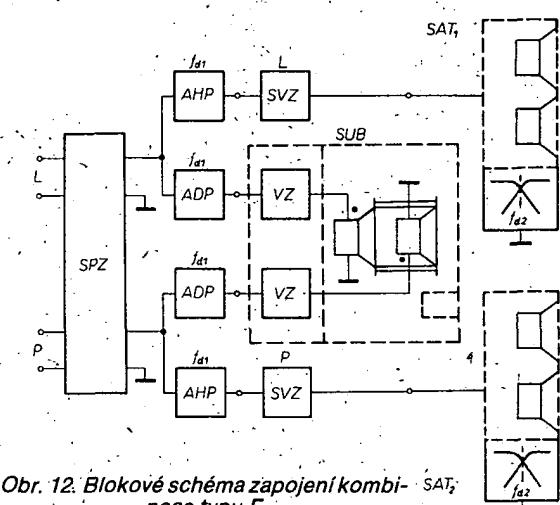
velkou výhodu v tom, že potřebný objem hlubokotónové jednotky při stejném dolním kmitočtu je oproti ozvučníci s jedním reproduktorem poloviční.

Zapojení typu C a D lze dále zjednodušit, použijeme-li v satelitní jednotce takový reproduktor, jehož dolní mezní kmitočet je roven dělicímu kmitočtu  $f_d$ . Reproduktor tvoří výhybku se strmostí 12 dB/okt a dělicím kmitočtem  $f_d$ . Touto úpravou ušetříme poměrně rozumné tlumivky, které spolu s kondenzátory tvoří horní propusti. K oddělení signálu z levého a pravého kanálu použijeme pouze kondenzátory odpovídající kapacity.

### 2.5 Zapojení typu E

Z hlediska použitých výhybek (obr. 12) je o zařízení aktivní. Z principu vytvoření společného signálu pro napájení hlubokotónové jednotky se jedná o součet akustický. Z výstupu levého i pravého kanálu stereofonního předzesilovače (SPZ) je signál přiváděn přes aktivní dolní propusti (ADP) a výkonové zesilovače (VZ) k jednotlivým hlubokotónovým reproduktorem. Z výstupu jednotlivých kanálů stereofonního předzesilovače (SPZ) je signál dále přiváděn přes aktivní horní propusti (AHP) a běžný stereofonní výkonový zesilovač (SVZ) (místo něho lze použít dva samostatné výkonové zesilovače) k satelitním jednotkám.

Z konstrukčního hlediska bývají zpravidla výkonové zesilovače (VZ) součástí



Obr. 12. Blokové schéma zapojení kombinace typu E

hlubokotónové jednotky, takže tvoří samostatné reprodukční zařízení.

Z impedančních požadavků vypívá, že impedance satelitních jednotek musí být stejná jako impedance jednotlivých hlubokotónových reproduktorů. Díky aktivnímu provedení je výhoda tohoto zapojení oproti předešlým verzím v tom, že lze při nestejně citlivosti jednotek citlivost upravit ovládacími prvky zesilovačů (SVZ) na stejnou úroveň.

### 2.6 Zapojení typu F

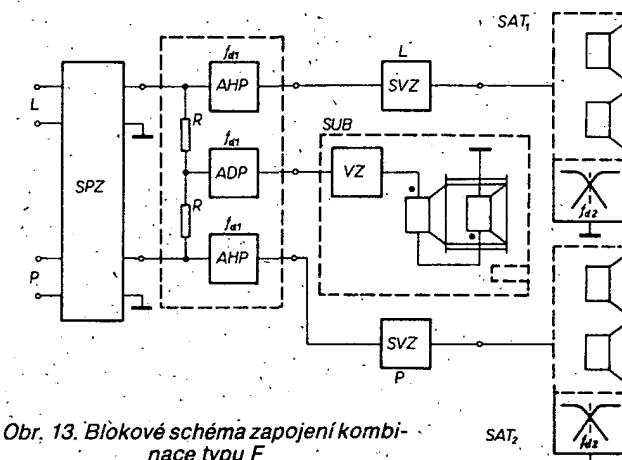
Signál z výstupu obou kanálů stereofonního předzesilovače (SPZ) je veden na sčítací obvod (obr. 13), tvořený dvěma rezistory R. Součtový (monofonní) signál je dále veden přes aktivní dolní propust (ADP) a výkonový zesilovač (VZ) na hlubokotónové reproduktory, zapojené sériově nebo paralelně, umístěné ve společné hlubokotónové jednotce (SUB). Z výstupu obou kanálů stereofonního předzesilovače je signál též veden přes aktivní horní propust (AHP) a stereofonní výkonový zesilovač (SVZ) k satelitním jednotkám (SAT 1 a SAT 2). Na místě stereofonního výkonového zesilovače (SVZ) mohou být použity dva samostatné výkonové zesilovače, které lze vestavět do ozvučnice hlubokotónové jednotky.

Z uvedeného popisu je patrné, že z hlediska typu výhybek jde o aktivní zařízení a z principu vytvoření společného (monofonního) signálu pro hlubokotónovou jednotku o elektrický součet signálů.

Mezi výhody můžeme řadit úsporu jednoho výkonového zesilovače a jedné aktivní dolní propusti oproti zapojení typu E. Možnost nastavit zesílení jednotlivých zesilovačů umožňuje vyrovnat kmitočtové charakteristiky v případě nestejně citlivosti dílčích jednotek (satelitů a subwooferu).

Z impedančních podmínek je třeba upozornit na to, že impedance jednotlivých hlubokotónových reproduktorů musí být v případě „osmiohmového“ provedení satelitů  $4 \Omega$  (sériové spojení). Je-li impedance satelitů  $4 \Omega$ , musí být impedance hlubokotónových reproduktorů  $8 \Omega$  (paralelní spojení).

Jak je vidět z blokového schématu na obr. 13, jde již o poměrně složité reprodukční zařízení ve srovnání s např. s typy B, CaD, což bylo možno z jistého hlediska označit za nevýhodu.



Obr. 13. Blokové schéma zapojení kombinace typu F

### 3. Ozvučnice hlubokotónových jednotek

Vzhledem k lepším přenosovým vlastnostem na nízkých kmitočtech a menším nelineárním zkreslení v této oblasti používáme pro konstrukci hlubokotónových jednotek bassreflexové ozvučnice. Dále si naznačíme postup návrhu:

Stanovíme rezonanční kmitočet ozvučnice

$$f_{ozv} = f_r \frac{Q_{c,ozv}}{Q_{c,r}} \quad [\text{Hz}; \text{Hz}, -, -] \quad (1),$$

kde  $f_r$  je rezonanční kmitočet reproduktoru,

$Q_{c,ozv}$  volíme v rozmezí 0,4 až 0,5,

$Q_{c,r}$  celkový činitel jakosti reproduktoru,

přičemž má být splněna podmínka  $f_{ozv}/f_r \leq 0,8$ .

Dolní mezní kmitočet jednotky je dán vztahem

$$f_d = f_{ozv} \sqrt{\gamma} \quad (2)$$

kde  $\gamma = \frac{m}{m_1}$  je poměr akustické hmotnosti vzduchu v hridle rezonátoru ozvučnice a hmotnosti systému reproduktoru. Výhodné jsou menší  $\gamma$  ( $\gamma \leq 2$ ), při nichž se účinně využije zmenšení amplitudy membrány v nadrezonanční oblasti ozvučnice. Objem  $V$  ozvučnice se pro daný typ reproduktoru s akustickou hmotností systému  $m_{a1}$  určí takto:

$$V = \frac{\rho_0 x}{(2\pi f_d)^2 m_{a1}} \cdot 10^3 = \frac{3,55 \cdot 10^6}{f_d^2 m_{a1}} \quad [\text{dm}^3; \text{Hz}, \text{kg}/\text{m}^4] \quad (3),$$

nebo přes ekvivalentní objem  $V_{ekv}$  reproduktoru

$$V = V_{ekv} \left( \frac{f_r}{f_d} \right)^2 \quad [\text{dm}^3; \text{dm}^3, \text{Hz}, \text{Hz}] \quad (4)$$

Dále určíme prvky bassreflexového rezonátoru. Zvolíme průměr nátrubku  $D_h$  [m] a jeho délku stanovíme ze vzorce

$$l = 0,654 D_h (D_h \cdot m - 1,3) \quad [\text{m}; \text{m}, \text{kg}/\text{m}^4] \quad (5),$$

kde  $m = \gamma m_{a1}$ .

Vzhledem k možnosti vzniku nezádoucích pazuvků v hridle rezonátoru při velkých rychlostech proudění je účelné

zkontrolovat rychlosť proudu, ktorá by nemela presiahnuť 10 m/s.

Určíme jí ze vzťahu

$$v = 1,5 \frac{p_1}{D_n^2 f_{ozv} q^2} \quad [\text{m/s, Pa, m, Hz}] \quad (6)$$

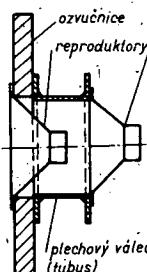
kde  $q = \frac{f_d}{f_{ozv}}$ ; zpravidla rychlosť kontrolujeme pri dolním mezním kmitočtu ozvučnice, pak  $q = \frac{f_d}{f_{ozv}}$ .

Za  $p_1$  dosazujeme zpravidla tlak 1 Pa, to odpovídá hladině akustického tlaku 94 dB.

Na závěr zkontrolujeme, jakou citlivost má navrhovaná ozvučnice, citlivost určíme z následujícího vzťahu

$$\eta = 52 + 10 \log \frac{f_d^3 V}{Q_{c,ozv} Y} \quad [\text{dB/VA/m; Hz, m}^3, -, -] \quad (7)$$

Na tomto místě se zmíníme o velmi zajímavém uspořádání reproduktorů (popisáno v [25]) s výhodou používaném ve společných hlubokotónových jednotkách. Při volbě reproduktorů bereme ohled na velikost obytné místnosti, kterou chceme ozvučit, na maximální standardní příkon, ale také na rozdíly samotné ozvučnice. Vycházíme-li ze stávajících reproduktorů u nás vyráběných, přicházejí v úvahu pro daný účel tři typy. Reproduktory ARN 5604/8, ARN 6604/8 a ARN 8604/8. Zvolíme-li např. hlubokotónový reproduktor střední velikosti typu ARN 6604, je pro dosažení dolního mezního kmitočtu  $f_d = 30$  Hz nutný objem ozvučnice  $100 \text{ dm}^3$ . Tak velká ozvučnice je pro běžné bytové prostory neúměrná. Zde se nabízí řešení uspořádat reproduktory do tzv. tandemu, jak je naznačeno



Obr. 14. Tandemové uspořádání reproduktorů

na obr. 14. V uvedeném uspořádání bude objem nutný k získání téhož dolního mezního kmitočtu  $f_d = 30$  Hz poloviční, tj.  $50 \text{ dm}^3$  a maximální možný příkon bude dvojnásobný.

Reproduktoři v uvedeném uspořádání se na nízkých kmitočtech chovají vlastně jako systém jediný s dvojnásobnou hmotou membrány a kmitacího systému. Ze vztahu (3) pro objem bassreflexové ozvučnice pak pro potřebný objem ozvučnice s tandemovým uspořádáním reproduktorů vyplývá, že

$$V_T = \frac{3,55 \cdot 10^6}{f_d^2 2m_a} = \frac{V}{2} \quad [\text{dm}^3, \text{Hz, kg/m}^4] \quad (8)$$

Tedy skutečně vychází poloviční objem ozvučnice. Obdobně pomocí vztahu (4) platí pro uspořádání v tandemu, že

$$V_{ekv} = \frac{V_{ekv}}{2}, \text{ pak}$$

$$V_T = \frac{V_{ekv}}{2} \left( \frac{f_r}{f_d} \right)^2 = \frac{V}{2} \quad [\text{dm}^3, \text{dm}^3, \text{Hz, Hz}] \quad (9)$$

Na tomto místě si je třeba uvědomit, že výše popsaným uspořádáním se zmenší citlivost oproti bassreflexové ozvučnici asi o 2,5 až 3 dB. Dosadíme-li do vztahu (7) za objem  $V$  poloviční velikost,  $V/2$ , bude citlivost

$$\eta = 52 + 10 \log \frac{f_d^3 (V/2)}{Q_{c,ozv} Y} \quad [\text{dB/VA/m; Hz, m}^3, -, -] \quad (10)$$

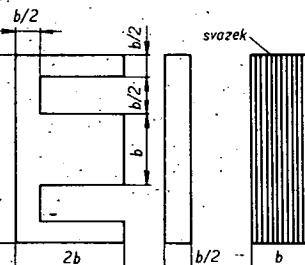
### 3.1 Prvky pro výrobky hlubokotónových jednotek

Kondenzátory používáme nejčastěji typu MP, TC 451 až 461, TC 651 až 669, TC 471 až 487 aj. Jedná se o krabicové kondenzátory z metalizovaného papíru, které mají poměrně velké rozměry. V některých případech se z hlediska tolerance a menších rozměrů spokojíme i s bipolárními nebo běžnými elektrolytickými kondenzátory, ale běžné elektrolytické kondenzátory opatřujeme z důvodu zachování kapacity jednoduchým obvodem (dioda, odpór) k vytvoření polarizačního napětí. Jako vhodné typy elektrolytických kondenzátorů doporučujeme např. TE 988, TE 986 a TE 990.

Indukčnosti tlumivky do výhybek pro hlubokotónové jednotky jsou řádu desítek milihenry. Vzduchové cívky nelze v tomto případě použít, neboť vychází z rozdílově velmi velké a spotřeba drátu větších průměrů je značná. Hlubokotónové jednotky přenáší z energetického hlediska velké výkony, nelze proto v mnoha případech použít ani tlumivky na feritovém jádře, neboť by se přesycovávají. Jako velmi výhodné se ukázalo realizovat tlumivky na jádře, složeném z transformátorových plechů EI.

Dále si ukážeme postup výpočtu tlumivek na jádře složeném z transformátorových plechů EI.

Orientačně určíme šířku  $b$  sloupku jádra, které je nakresleno na obr. 15 a zvolíme nejblíže větší normalizovanou šířku plechů EI.



Obr. 15: Rozměrový náčrtok plechu EI

$$b = 3,71 \sqrt{k \frac{L}{R}} \quad [\text{mm; mH, } \Omega] \quad (11)$$

kde  $k$  je součinitel plnění a pro lakované vodiče Cu o průměru větším než 0,5 mm je 1,3 až 1,4.

$R$  je odpór vinutí cívky (nemá být větší než 1/10 jmenovité impedance hlubokotónové jednotky),

$L$  je požadovaná indukčnost.

Stanovíme magnetickou vodivost

$$G = \frac{S_1 \mu_0}{\delta_c} \quad [\text{Wb/A; m}^2, \text{m}] \quad (12)$$

kde  $S_1$  je plocha jádra,  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$  (permeabilita vakuua),

$\delta_c$  je vzduchová mezera (vložka,

vymezující tuto vzduchovou mezera, má poloviční tloušťku, neboť jádro je přerušeno mezera dvakrát).

Dále určíme počet závitů

$$N = \sqrt{\frac{L}{G}} \quad [-, \text{H, Wb/A}] \quad (13)$$

a průměr drátu

$$d = \sqrt{\frac{S_c}{N k}} \quad [\text{mm, mm}^2, -, -] \quad (14)$$

kde  $S_c$  je plocha cívky.

Podle tab. 1 zkontrolujeme, zda se počet závitů na stanovenou šířku  $b$  jádra vejde. Odpór vinutí navrhované cívky stanovíme ze vztahu

$$R = \rho N \frac{l_z}{S} \quad [\Omega; \Omega/\text{mm}^2, -, \text{m, mm}^2] \quad (15)$$

$l_z$  je zde délka středního závitu,  $\rho$  měrná vodivost použitého vodiče,  $S$  průřez vodiče,  $N$  počet závitů cívky.

Závěrem je nutné zkontrolovat sycení jádra a přesvědčit se, zda u navrhované cívky nebude jádro přesyceno.

U tlumivky určené do výhybky 1. řádu je sycení

$$B = 0,255 \frac{U}{f_{d1} S_1 N} \quad [\text{T; V, Hz, m}^2, -] \quad (16)$$

u tlumivky pro výhybky 2. řádu je

$$B = 0,45 \frac{U}{f_{d1} S_1 N} \quad [\text{T; V, Hz, m}^2, -] \quad (17)$$

kde  $U$  je maximální napětí, přivedené na vstup jednotky,  $f_{d1}$  dělící kmitočet jednotky,  $S_1$  plocha jádra,  $N$  počet závitů cívky.

Ani v jednom z uvedených případů by nemělo sycení jádra složeného z transformátorových plechů EI překročit 0,6 T. Potřebné parametry pro výpočet tlumivek jsou shrnutý v tab. 2.

## 4. Hlubokotónové jednotky – praktické provedení

V této kapitole budou uvedeny kompletní konstrukční podklady pro stavbu hlubokotónových jednotek, včetně popisu zvolené koncepce a naměřených výsledků. Konstrukční popisy ozvučnic jsou řazeny od nejménších objemů po největší.

Princip vytvoření součtového (monofonního) signálu pro tyto jednotky a způsoby připojení ke stereofonnímu zesilovači a satelitním jednotkám budou uváděny již konkrétně v souladu s tím, co bylo blokávem popsáno v kapitole 2.

Bude-li čtenáři využívat po akustické a rozdílové stránce ta která hlubokotónová jednotka, je možné její zapojení, tedy způsob připojení ke stereofonnímu zesilovači a satelitním jednotkám volit podle vlastního uvážení nebo realizačních možností. Například nebude-li se někomu zamouvat u první uváděné jednotky zapojení typu A, ve kterém se musí stereofonní zesilovač doplnit o invertor, může si zvolit např. jednoduché zapojení typu D. Akustické vlastnosti hlubokotónové jednotky zůstanou zachovány.

Na tomto místě je nutné upozornit těž na správný výběr reproduktoru. Aby byly produkty nelineárního zkreslení co nejmenší, jsou u uváděných hlubokotónových jednotek použity bassreflexové o-

Tab. 1. Maximální počet závitů drátu CuL uvedených průměrů na jádřech EI

EI 16×16 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	176	132	110	91	75	64	55	46	41

EI 20×20 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	288	216	180	150	123	105	90	76	69

EI 25×25 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	439	329	274	228	187	159	137	115	104

zvučnice. Jak je známo z literatury, činitel jakosti reproduktorů vhodných pro tyto typy ozvučnic se musí pohybovat kolem 0,4. U starých reproduktorů typu ARN 664/669 a u prvních vyráběných sérií nových reproduktorů ARN 6604/6608 se činitel jakosti pohyboval okolo 0,5, což lze považovat pro daný účel ještě za přijatelnou velikost. V poslední době se činitel jakosti reproduktorů ARN 6604/6608 zvýšil až na 0,66. Abychom i přesto dosáhli vyrovnaného kmitočtového průběhu na nejnižších kmitočtech, musíme činitel jakosti z této velikosti zmenšit asi na 0,45. To lze udělat použitím akustického odporu v podobě plsti z přírodního materiálu, přilepené ke zadu na koš reproduktoru. Použijeme takovou tloušťku a průdýšnost plsti, aby se impedance reproduktoru v rezonanci zmenšila na velikost danou výrazem:

$$Z_r = R_v \left( 1 + \frac{Q'_{cr}}{\frac{2\pi f_m R_v}{(B I)^2} - Q'_{cr}} \right) \quad (18)$$

kde  $Q'_{cr}$  je požadovaný činitel jakosti reproduktoru,  $B$  součin magnetické indukce a délky vinutí kmitací čívky [ $T \cdot m$ ],  $f$  rezonanční kmitočet reproduktoru [Hz],  $m$  mechanická hmotnost membrány reproduktoru [kg],  $m_r = m_{al} S^2$ ,  $R_v$  odporník kmitací čívky [ $\Omega$ ]. Pokud některé z těchto parametrů výrobce neudává, podrobný popis jejich měření je uveden v [4].

#### 4.1 Hlubokotónová jednotka o vnitřním objemu 35 dm<sup>3</sup>

##### Návrh vyzařovacích jednotek

Tato jednotka je určena pro přenos nízkých kmitočtů od 35 Hz do 155 Hz. Bassreflexová ozvučnice této hlubokotónové jednotky je osazena dvěma reproduktory ARN 6604, uspořádanými z hlediska menších rozměrů a větší zatížitelnosti do tandemu. Pro optimální návrh této jednotky jsme vycházeli ze změřených parametrů reproduktoru ARN 6604:

imenovitý příkon:  $P = 20 \text{ VA}$ , špičkový hudební příkon:  $P = 40 \text{ VA}$ , jmenovitá impedance:  $Z = 4 \Omega$ , odporník kmitací čívky:  $R_v = 3,9 \Omega$ .

EI 32×32 mm

Ø drátu [mm]	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Počet závitů	816	612	510	424	347	296	255	214	194

Tab. 2. Údaje pro výpočet tlumiček na jádře EI

Typ plechů	Plocha $S_c$ cívky [cm <sup>2</sup> ]	Délka $l_z$ stř. závitů [cm]	Průřez $S_j$ jádra [cm <sup>2</sup> ]
EI 16×16 mm	1,1	8,5	2,43
EI 20×20 mm	1,8	10,5	3,8
EI 25×25 mm	2,7	13,0	5,9
EI 32×32 mm	5,1	17,0	8,7

Pozn.: Údaje o průřezu jádra v prvním sloupci platí pro tloušťku plechů 0,5 mm, v druhém pro plechy tl. 0,35 mm.

akustická hmota kmitačního systému:

ekvivalentní objem:

rezonanční kmitočet:

činitel jakosti celkový:

charakteristická citlivost:

Z uvedených údajů lze stanovit podle (1) rezonanční kmitočet ozvučnice  $f_{ozv}$ . V našem případě je 29 Hz. Při daném vnitřním objemu ozvučnice  $V = 35 \text{ dm}^3$  je dolní mezní kmitočet  $f_d = 35 \text{ Hz}$ . Ze vztahu (2) určíme  $\gamma$ , tj. poměr akustické hmotnosti vzdachu v hrdle rezonátoru ozvučnice a akustické hmotnosti kmitačního systému reproduktoru, která je 1,5.

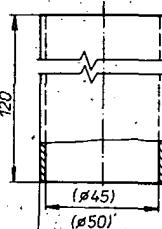
##### Řešení ozvučnice

Rozměry a konstrukční provedení bassreflexové ozvučnice použité u této hlubokotónové jednotky jsou na obr. 16. Ozvučnice je zhotovena z latovky o tloušťce 20 mm. Povrchově byla v našem případě ozvučnice upravena dýhováním, ale můžeme ji otapetovat, namořit apod. To však necháme na vlastním výkusu a realizačních možnostech čtenářů.

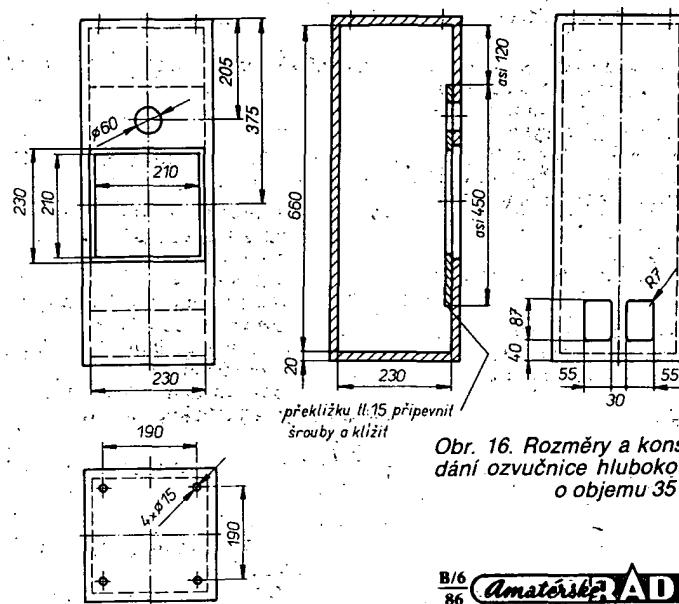
Na dně jsou čtyři díry o Ø 15 mm pro nožky, na nichž bude ozvučnice stát, jejich délku volíme např. podle potřeby stejně výšky ozvučnice jako některého dílu bytové stěny. V zadní stěně v dolní části jsou vestavěny dvě vaničky z plasty

tické hmoty (obr. 16). Na dně vaniček jsou dvě zdírky a dva reproduktory pro připojení výstupu stereofonního zesilovače a dvou malých reproduktorek soustav satelitů. Před ústím reproduktoru je upevněn perforovaný plech o tloušťce 1 mm. Musí být ovšem dokonale vyztužen např. pásky tlustého plechu, aby nekmital a nebyl pazvuky rušen reprodukovaný signál. Pokud nemáme k dispozici perforovaný plech, můžeme zhotovit rámeček např. z tvrdého dřeva, pokrytý prodyšnou tkaninou.

Bassreflexový rezonátor je realizován z novodurové trubky o průměru 45 mm. Podle vztahu (5) při dosazení za  $m$  dvojnásobného údaje (reproduktoři v tandemu) dostáváme délku trubky  $l = 120 \text{ mm}$ .



Obr. 17. Bassreflexový rezonátor



Obr. 16. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice hlubokotónové jednotky o objemu 35 dm<sup>3</sup>

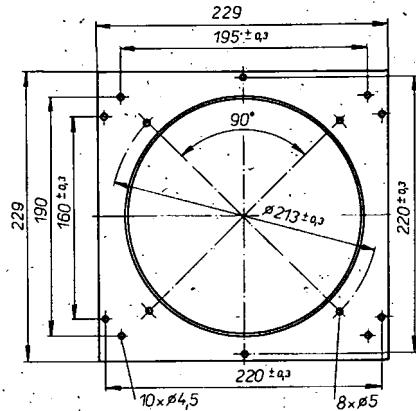
Rychlosť vzduchu v hrdle navrhovaného rezonátora bude menší než  $10 \text{ m/s}$  a v hrdle nebudou vznikať proudění vzduchu nežadoucí pažvuky. Rozměry novodurových trubek jsou na obr. 17. K zamezení nežadoucích turbulencí na okrajích rezonátora je možné konce novodurových trubek opatřit vnitřním a vnějším nástavcem (obr. 18a). Nástavce jsou zhotoveny rovněž z novoduru a přilepeny k novodurovým trubkám lepidlem L 20. Vzhledem k tomu, že nástavce vyžadují náročnější soustružnické práce, mohou se čtenáři spokojit pouze se zaoblením obou okrajů novodurových trubek pilníkem. Takto upravená trubka, tvořící bassrefle-

zhotoven z železného plechu tl. 1,5 mm. Čela o tloušťce 2 mm jsou v válci přivárená, válec je svařen po celé délce. Názorné provedení tubusu je na obr. 18.

#### Výhybky

Pro tuto hlubokotónovou jednotku bylo zvoleno zapojení typu A, které bylo blokově popsáno v článku 2.1. Dolní propust omezující akustický signál do hlubokotónové jednotky na dělicím kmitočtu  $f_d = 155 \text{ Hz}$  je 2. řádu se strmostí 12 dB/okt. Rovněž tak horní propust s dělicím kmitočtem  $f_d = 155 \text{ Hz}$ , přes které je přiváděn signál do malých reproduktových soustav. – satelitů, jsou 2. řádu.

ARN 6608 zapojené paralelně. Jelikož jsou reproduktory hlubokotónové jednotky zapojeny mezi výstupy „živých“ konců jednotlivých kanálů, tak by při provozu s běžným stereofonním zesilovačem nevyžádaly žádný signál. Musíme proto otočit fázi signálů u jednoho kanálu stereofonního zesilovače, pak budou teprve reproduktory správně buzeny. Současně musíme otočit polaritu u satelitní jednotky tak, aby tyto jednotky a hlubokotónová jednotka byly ve fázi. Na obr. 20 uvádíme konkrétní elektrické schéma invertoru, kterým musíme doplnit stereofonní zesilovač, s kterým budeme doplnit výše popsanou hlubokotónovou jednotku provozovat. In-



Obr. 18. Tubus pro uchycení reproduktorů ARN 6604 v tandemu

xový rezonátor, je vlepena do otvoru na přední stěně ozvučnice lepidlem L 20.

Reproduktoři, jak bylo uvedeno, jsou uspořádány v tandemu. Konstrukčně je to provedeno tak, že reproduktory jsou přišroubovány za sebou na plechový válec s osazením (tzv. tubus). Plechový válec je

konstrukčně je výhybka realizována na texgumoidové podložce tl. 5 mm o rozmerech  $110 \times 170 \text{ mm}$  a je upevněna na dně ozvučnice.

Celkové elektrické schéma výhybek je na obr. 19. Údaje prvků výhybky jsou v tab. 3.

Tlumivky L1 a L2 jsou realizovány na jádřech EI  $20 \times 20 \text{ mm}$ . Pro impedanci hlubokotónové jednotky  $4 \Omega$  navineme drátem CuL o průměru  $0,85 \text{ mm}$  185 závitů. Pro impedanci  $8 \Omega$  bude počet závitů 262 a cívku navineme drátem CuL o průměru  $0,7 \text{ mm}$ . V obou případech vymezíme vzduchovou mezu nevodivou podložkou o tloušťce 1 mm. Na tomto místě je třeba upozornit na to, že v zapojení typu A při požadavku celkové impedance reproduktové kombinace  $8 \Omega$  musí být impedance reproduktoru použitých v hlubokotónové jednotce  $4 \Omega$ . Jak je patrné z obr. 19, jsou reproduktory zapojeny do série. V případě požadavku celkové impedance  $4 \Omega$  použijeme dva reproduktory

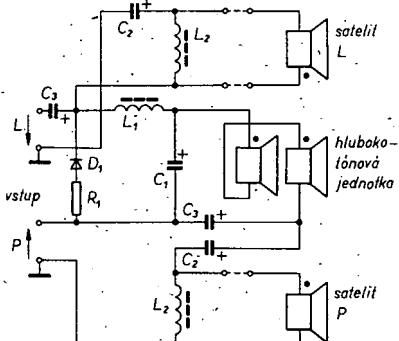
Obr. 18a. Vnější a vnitřní nástavec bass-reflexového rezonátoru

vertor zařadíme před koncový stupeň zesilovače.

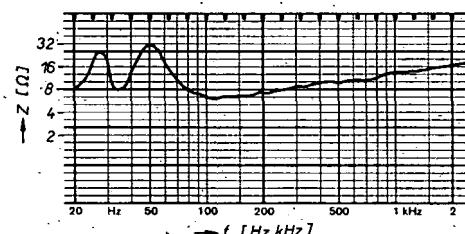
#### Naměřené výsledky

Na realizované hlubokotónové jednotce jsme změřili několik základních vlastností. Především byla změřena vstupní impedance hlubokotónových reproduktorů, z jejíhož průběhu můžeme stanovit náladění bassreflexového rezonátoru. Impedance v závislosti na kmitočtu je uvedena na obr. 21. Dále byla změřena kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku v blízkém poli při vstupním napětí  $U_g = 1 \text{ V}$ . Měřicí mikrofon byl umístěn v ose mezi reproduktory a bass-reflexovým otvorem ve vzdálenosti  $0,2 \text{ m}$  od hlubokotónové jednotky. Změřený průběh kmitočtové charakteristiky je na obr. 22.

3.

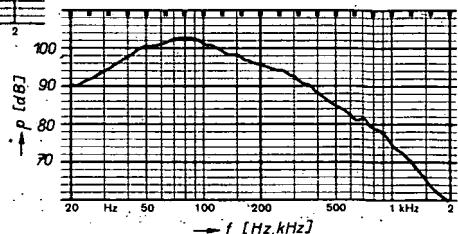


Obr. 19. Schéma zapojení hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu  $35 \text{ dm}^3$



Obr. 21. Kmitočtový průběh vstupní impedance hlubokotónových reproduktorů jednotky o objemu  $35 \text{ dm}^3$

Obr. 22. Kmitočtová charakteristika hlubokotónové jednotky o objemu  $35 \text{ dm}^3$



Tab. 3. Údaje součástky výhybky z obr. 19

Osazení	Impedance [Ω]	$L_1$ [mH]	$L_2$ [mH]	$C_1$ [μF]	$C_2$ [μF]	$C_3$ [μF]	$R_1$ [Ω]	$D_1$
2x ARN 6608 (paralelně)	4	8,2	8,2	128	128	2500	100 až 270	KA207
2x ARN 6604 (sériově)	8	16,4	16,4	64	64	2500	100 až 270	KA207

$C_1 = 10 \text{ až } 68 \text{ nF}$ ;  $C_2 = 50 \text{ až } 500 \text{ μF}$

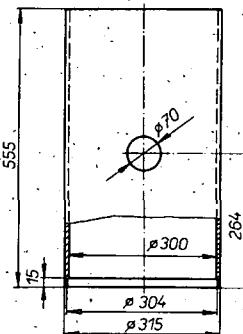
Obr. 20. Schéma zapojení invertujícího zesilovače

$C_1 = 10 \text{ až } 68 \text{ nF}$ ;  $C_2 = 50 \text{ až } 500 \text{ μF}$

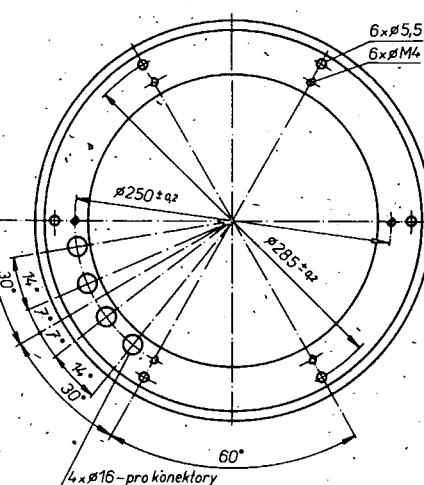
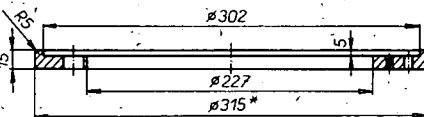
Obr. 20. Schéma zapojení invertujícího zesilovače

### Technické parametry

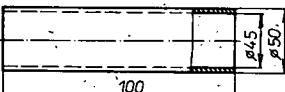
Jmenovitá impedance:	8 $\Omega$ (4 $\Omega$ ).
Max. standardní příkon:	40 VA.
Špičkový hudební příkon:	80 VA
Kmitočtový rozsah ( $\pm 3$ dB):	35 Hz až 200 Hz.
Charakteristická citlivost:	87 dB/V/A/m.
Použité reproduktory:	2x ARN 6604 (2x ARN 6608).
Výška:	pasivní 2. řádu, 12 dB/okt.
Délka kmitočet:	155 Hz.
Druh ozvučnice:	bassreflexová.
Volný objem ozvučnice:	32 dm <sup>3</sup> .
Vnější rozměry (v x š x h):	700 x 270 x 270 mm.



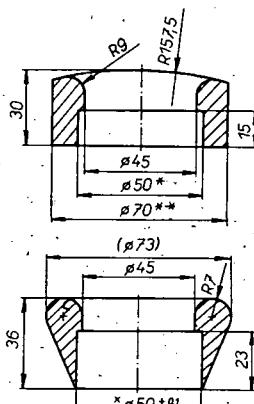
Obr. 23. Válcová ozvučnice hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu 38 dm<sup>3</sup>.



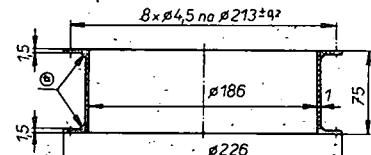
Obr. 28. Spodní víko pro válcovou ozvučnici



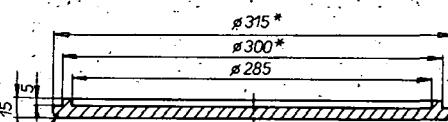
Obr. 24. Bassreflexový rezonátor



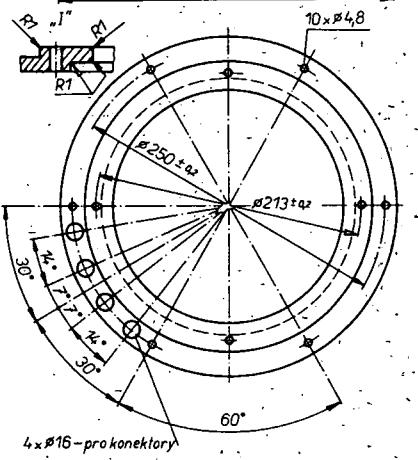
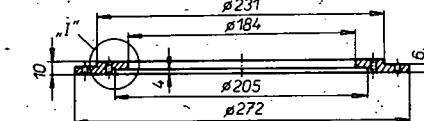
Obr. 25. Vnější a vnitřní nástavec bassreflexového rezonátoru



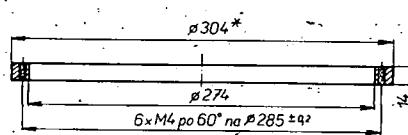
Obr. 26. Tubus pro uchycení reproduktoru ARN 6604 v tandemu



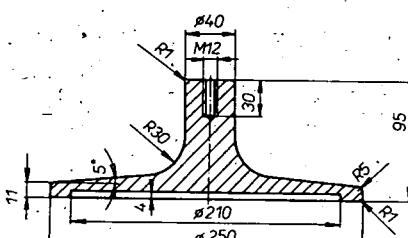
Obr. 27. Horní víko pro válcovou ozvučnici



Obr. 29. Novodurová vložka pro válcovou ozvučnici



Obr. 30. Novodurový kroužek pro válcovou ozvučnici



Obr. 31. Stoječí kroužek pro válcovou ozvučnici

### Výhybky

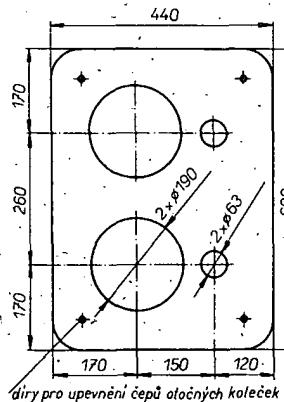
Pro tuto hlubokotónovou jednotku jsme zvolili zapojení typu B, které je blokově popsáno v článku 2.2. Pro správnou činnost hlubokotónové jednotky satelitních jednotek v případě stejné citlivosti všech jednotek je nutné, aby impe-



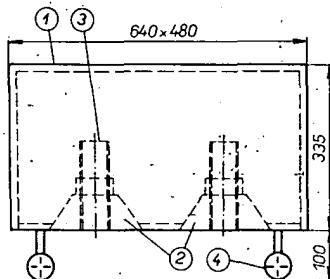
k dosažení stejněho dolního mezního kmitočtu, potřebujeme dvojnásobný objem ozvučnice, než při použití jednoho reproduktoru. V porovnání s uspořádáním reproduktoru do tandemu je k dosažení stejněho dolního mezního kmitočtu nutný v tomto případě objem čtyřnásobně větší.

## Řešení ozvučnice

Ozvučnice je z hlediska použití řešena jako součást nábytku s možností použít ji jako stolek pod televizní přijímač nebo odkládací plochu k sedací soupravě. Je vyrobena z překlížky tl. 20 mm (rohy je možné zaoblit nebo ponechat ostře hrany podle provedení ostatního nábytku). Reproduktoři jsou uspořádány vedle sebe a vyzařují akustické signály směrem dolů. Rozměry a konstrukční uspořádání jsou na obr. 39a. Na obr. 39b je sestava hlubo-

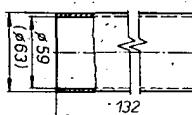


Obr. 39a. Spodní deska hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu 66 dm<sup>3</sup>



Obr. 39b. Celková sestava hlubokotónové jednotky o vnitřním objemu 66 dm<sup>3</sup>.

kotónové jednotky. V ozvučníci 1 jsou na spodní části příšroubovány ze zadu oba hlubokotónové reproduktory 2 a lepidlem L 20 přilepeny bassreflexové nátrubky 3. Vzhledem k tomu, že reproduktory vyzářují akustické signály směrem dolů k podlaze místnosti, musí být pro správnou činnost hlubokotónové jednotky ozvučnice vzdálena od podlahy min. 100 mm. V našem případě jsme vzdálenost od podlahy vymezili nastavením držáku koleček 4 tak, aby celková délka byla 100 mm. Vzhledem k rozměrům a hmotnosti hlubokotónové jednotky umožňují kolečka též rychlou a snadnou manipulaci. Konstrukční výkres bassreflexových rezonátorů vyrobených z novodurové trubky je na obr. 40. K zamezení nežádoucích turbulencí vzduchu a zmenšení ztrát rezoná-



Obr. 40. Bassreflexový rezonátor

toru doporučujeme zaoblit hrany trubky na obou jejich stranách. Konektory přivádějící signál z výstupu stereofonního zesilovače a rovněž konektory pro připojení satelitních jednotek jsou umístěny na spodní desce ozvučnice.

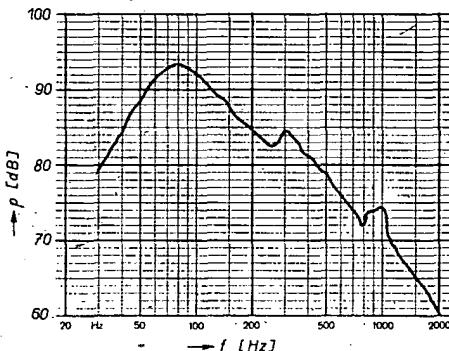
## Výhybky

Pro tuto hlubokotónovou jednotku ne-tradičního uspořádání jsme zvolili zapojení typu C (článek 2.3), využívající akustického sítí signálu. Reproduktory ne-jou s v tomto případě uspořádány v tandemu, ale vedle sebe. Dělící kmitočet výhybky byl zvolen záhmerně 200 Hz, neboť jde o velmi jednoduchou a ekonomickou hlubokotónovou jednotku. K jednotce můžeme připojit satelitní jednotky s dálším mezním kmitočtem  $f_{d1} = 200$  Hz, popsané v článku 5.1. Indukčnosti potřebných tlumivék jsou řádově desítky milihenry. Z realizačních důvodů jsme je navrhli na jádře složeném z transformátorových plechů EI, neboť vzduchové by vycházely rozměrově neúměrně veliké. Tlumivky  $L_1$  a  $L_2$  jsou na jádře EI  $25 \times 25$  mm. Pro impedanci jednotky  $4 \Omega$  je tlumivka počtem závitů 131 navinuta drátem o  $\varnothing 1,2$  mm. Při impedanci jednotky  $8 \Omega$  bude tlumivka rovněž na jádře EI  $25 \times 25$  mm. Drátem o průměru 1 mm navineme 184 závitů a nevodivou vložkou vymezíme mezeru 1 mm mezi plechy E a plechy I. Schéma zapojení výhybky je na obr. 41. Protože se tlumivkami  $L_2$  nepřenáší velký výkon, můžeme je reali-zovat též na feritovém jádře, což rozměro-

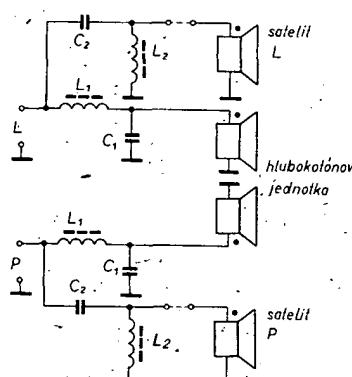


## *Naměřené výsledky*

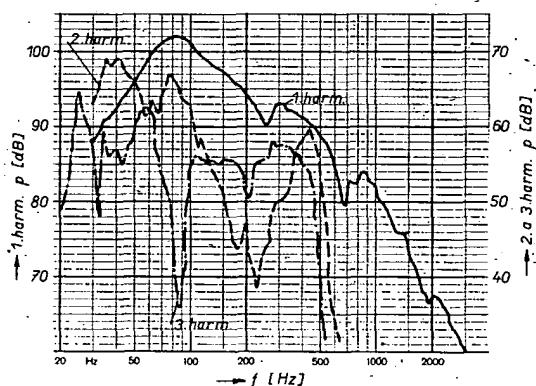
Impedanční charakteristiku, změřenou na hlubokotónových reproduktorech jednotky, uvádíme na obr. 42. Dále byla změřena kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku jednotky v blízkém poli ve vzdálenosti  $l = 0,2$  m; její tvar je na obr. 42a. Průběhy první, druhé a třetí harmonické, dávající informaci o harmonickém zkreslení, jsou na obr. 42b. Průběhy byly změřeny ve vzdálenosti  $l = 1$  m a při príkonu  $P = 10$  VA.



Obr. 42a. Kmitočtová charakteristika hlučnosti bokotónové jednotky o objemu 66 dm<sup>3</sup>.  
Měřeno zblízka,  $l = 0.2$  m



Obr. 41. Schéma zapojení hlubokotónové jednotky o objemu 66 dm<sup>3</sup>



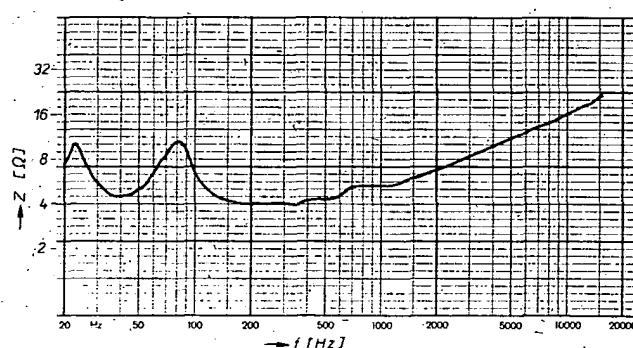
Obr. 42b. Kmitočtové průběhy 1, 2. a 3. harmonické hlubokotónové jednotky o objemu 66 dm<sup>3</sup>

Tab. 5. Údaje součástecké výhybky podle obr. 41.

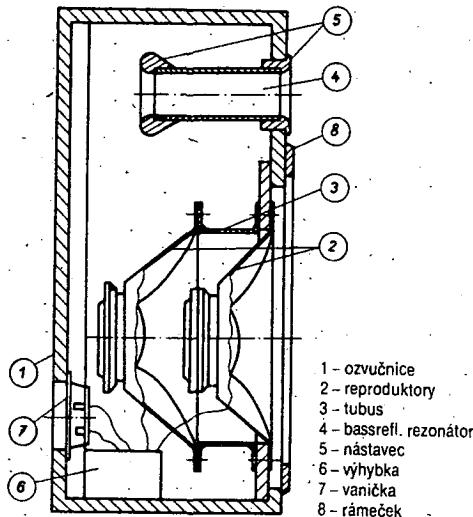
Obsazení	Impedance [Ω]	L <sub>1</sub> [mH]	L <sub>2</sub> [mH]	C <sub>1</sub> [μF]	C <sub>2</sub> [μF]
2x ARN 6604	4	6,3	6,3	100	100
2x ARN 6608	8	12,6	12,6	50	50

Technické údaje

<i>Jmenovitá impedance:</i>	4 Ω (8 Ω).
<i>Max. standardní příkon:</i>	40 VA.
<i>Špičkový hudební příkon:</i>	80 VA.
<i>Kmitočtový rozsah (±3 dB):</i>	45 až 2000 Hz.
<i>Charakteristická citlivost:</i>	86 dB/VA/m.
<i>Použité reproduktory:</i>	2x ARN 6604 (2x ARN 8604)



Obr. 42. Kmitočtový průběh vstupní impedance hlubokotónových reproduktorů jednotky ohněmu  $66 \text{ dm}^3$



Obr. 43. Sestava hlubokotónové jednotky o objemu 78 dm<sup>3</sup>

<b>Výhýbka:</b>	pasivní 2. řádu; 12 dB/okt.
<b>Délci kmitočet:</b>	200 Hz.
<b>Druh ozvučnice:</b>	bassreflexová.
<b>Volný objem ozvučnice:</b>	64 dm <sup>3</sup> .
<b>Rozměry (v x š x h):</b>	335 x 640 x 480 mm.

#### 4.4 Hlubokotónová jednotka o vnitřním objemu 78 dm<sup>3</sup>

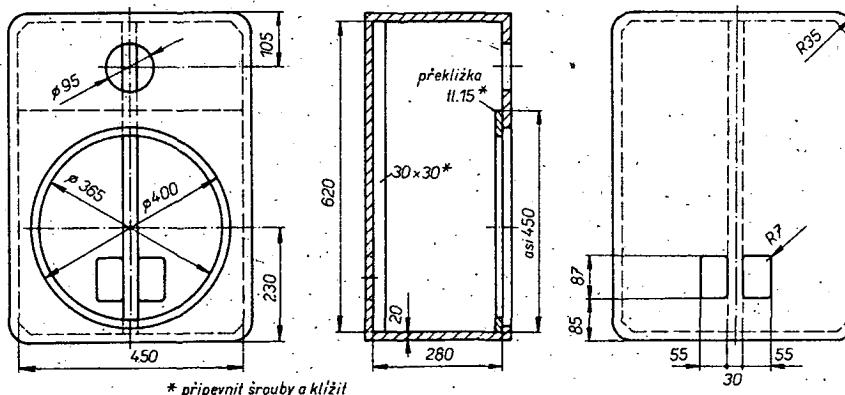
## Návrh

Hlubokotónová jednotka je určena k reprodukci signálu v kmitočtovém pásmu 28 Hz až 155 Hz. Ozvučnice je bassreflexová s dvěma reproduktory ARN 8604 v tandemovém uspořádání. Při návrhu ozvučnice této hlubokotónové jednotky jsme vycházeli z daných a naměřených údajů reproduktoru ARN 8604:

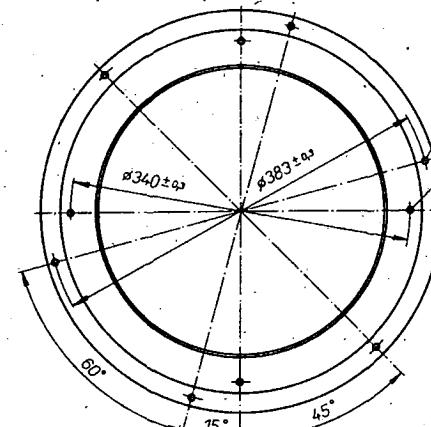
jmenovitý příkon:  $P = 30 \text{ VA}$ ,  
 špičkový hudební výkon:  $P_s = 60 \text{ VA}$ ,  
 jmenovitá impedance:  $Z_j = 4 \Omega$ ,  
 odpor vinutí kmitací cívky:  $R_v = 3,75 \text{ až}$

akustická hmota kmitacího systému:  
ekvivalentní objem:  
rezonanční kmitočet:  
činitel jakosti elektrický:  
činitel jakosti celkový:  
citlivost:

Při uvedeném objemu ozvučnice určíme podle (3) dolní mezní kmitočet  $f_d$ , který je 28 Hz. Podle (1) je rezonanční kmitočet ozvučnice pak roven též 28 Hz a poměr  $y = 1$ .



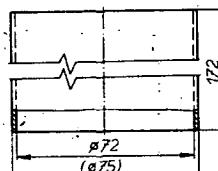
Obr. 43a. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice hlubokotónové jednotky o objemu 78 dm<sup>3</sup>



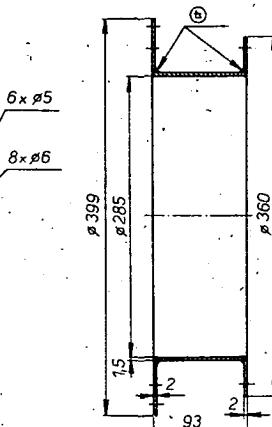
Obr. 46. Tubus pro uchycení reproduktoru ARN 8604 v tandemu

### Řešení ozvučnice

Sestava této hlubokotónové jednotky je na obr. 43. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice jsou na obr. 43a. Ozvučnice je z laťkovky o tloušťce 20 mm, pro upewnění reproduktoru je použita překlínka 15 mm. Na zadní stěně ozvučnice jsou



Obr. 44. Bassreflexový rezonátor



460

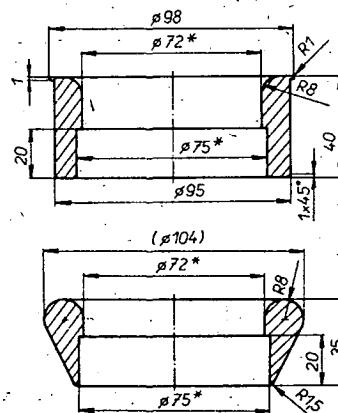
ikanina

50

50

10

Obr. 47. Přední rámeček s tkaninou pro hlubokotónovou jednotku o objemu  $78 \text{ dm}^3$



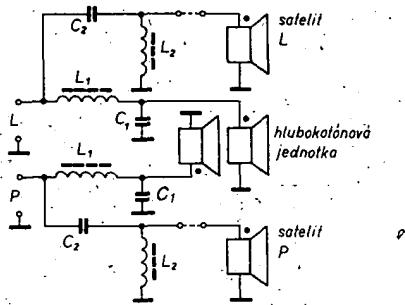
Obr. 45. Vnější a vnitřní nástavec bassreflexového rezonátoru

dva otvory pro vaničky z plastické hmoty, na nichž jsou přišroubovány zdírky a reproduktorové konektory. Aby zadní stěna ozvučnice při větším vybuzení nekmitala, je výztužena hranoly  $30 \times 30$  mm. Náprední stěně jsou otvory pro bassreflexový rezonátor a pro reproduktory, uspořádáne v tandemu. Rezonátor je zhotoven z novodurové trubky o světlosti 72 mm. Rozměry jsou uvedeny na obr. 44. Pro zmenšení nežádoucích turbulencí vzdachu při jeho vstupu a výstupu z rezonátoru jsou oba konec rezonátoru opatřeny nástavci, jejichž konstrukční výkresy jsou na obr. 45. Nástavce jsou přilepeny na obou koncích bassreflexové trubky opět lepidlem L 20 a pomocí předního nástavce je celý rezonátor vlepen do otvoru v ozvučnici.

K upevnění reproduktoru do tandemu slouží plechový válec z ocelového plechu tl. 1,5 mm, který je opatřen dvěma mezikružími též z ocelového plechu tl. 2 mm. Konstrukční výkres tohoto nosného prvku reproduktoru – tubusu, je na obr. 46. K ochraně reproduktoru před mechanickým poškozením slouží čtvercový rámeček z tvrdého dřeva, potažený prodyšnou tkaninou (obr. 47). Rámeček lze bud přilepit nébo připevnit količky na přední stěnu ožvužnice.

## Výhýbky

V tomto případě jsme zvolili zapojení typu D (článek 2.4), které využívá akustického způsobu sčítání signálů a tandemového uspořádání reproduktorů. Jako horní a dolní propusti jsme použili výhybky 2. řádu se strmostí 12 dB/okt. Dolní propusti k omezení a přivedení signálu nejnížších kmitočtů k jednotlivým hlubokotonovým reproduktorům. Dělící kmitočet byl zvo-



Obr. 48. Schéma zapojení hlubokotónové jednotky o objemu  $78 \text{ dm}^3$

Tab. 6. Údaje součástek výhybky pro zapojení z obr. 48

Osazení	Impedance [Ω]	$L_1$ [mH]	$L_2$ [mH]	$C_1$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_2$ [ $\mu\text{F}$ ]
2x ARN 8604	4	8,2	8,2	128	128
2x ARN 8608	8	16,4	16,4	64	64

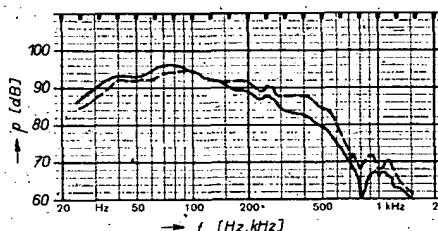
len 155 Hz. Horní propusti propouštějí pásmo signálů od 155 Hz. Indukčnosti tlumivek a kapacity kondenzátorů jsou pro impedanci hlubokotónové jednotky 4 Ω nebo 8 Ω v tab. 6.

Celkové elektrické schéma hlubokotónové jednotky je na obr. 48. Tlumivky  $L_1$  pro hlubokotónovou jednotku 8 Ω budou mít indukčnost 16,4 mH. Jsou zhotoveny na jádře složeném z transformátorových plechů EI 25 × 25 mm. Cívka je navinuta drátem CuL o Ø 1 mm a počet závitů je 210. Vzduchovou mezera vymezíme na 1 mm. Tlumivky pro hlubokotónovou jednotku o impedanci 4 Ω budou mít indukčnost  $L_1 = 8,2 \text{ mH}$  a jsou realizovány na stejném jádře, tj. EI 25 × 25 mm. Cívka je navinuta opět drátem CuL o průměru 1 mm a počet závitů je 148. Vzduchová mezera bude 1 mm.

Tlumivky v horních propustích, přes které prochází signál do satelitních jednotek, mají indukčnost  $L_2 = 16,4 \text{ mH}$  pro impedanci těchto jednotek 8 Ω. Jsou realizovány na hrnčíkovém feritovém jádře o Ø 36 × 22 mm, hmotá  $H12 \text{ a } A_L = 1000$ . Cívky jsou navinuty drátem CuL o Ø 0,6 mm s počtem závitů 128.

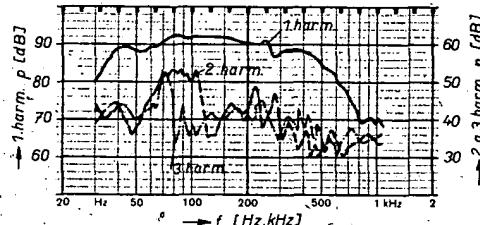
Tlumivky pro impedanci satelitů 4 Ω budou mít indukčnost  $L_2 = 8,2 \text{ mH}$ . Jsou na feritovém jádře o Ø 36 × 22 mm, hmotá  $H12 \text{ a } A_L = 1000$ . Cívky jsou navinuty drátem CuL o Ø 0,6 mm s počtem závitů 91.

Kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  o kapacitě 64  $\mu\text{F}$  se při impedanci jednotky 8 Ω skládají paralelně ze dvou kondenzátorů MP s kapacitou 32  $\mu\text{F}$ , TC 651 (na 160 V). Při impedanci hlubokotónové jednotky 4 Ω mají kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  kapacitu 128  $\mu\text{F}$ . Tuto kapacitu získáte paralelním spojením čtyř kondenzátorů 32  $\mu\text{F}$ , TC 651.



Obr. 49. Kmitočtová charakteristika hlubokotónové jednotky o objemu  $78 \text{ dm}^3$ . Měřeno zblízka,  $l = 0,2 \text{ m}$  – křivka plná a ve vzdálenosti  $l = 1 \text{ m}$  – křivka čárková

Obr. 50. Kmitočtové průběhy 1, 2. a 3. harmonické hlubokotónových reproduktérů v ozvučníci o objemu  $78 \text{ dm}^3$ . Měřeno při příkonu  $P = 2 \times 5 \text{ VA}$  ( $U_g = 2 \times 4,5 \text{ V}$ ) ve vzdálenosti 1 m



Naměřené výsledky

Realizovaná hlubokotónová jednotka byla podrobená řadě objektivních i subjektivních měření. Některé výsledky měření uvádíme v dalším textu. Na obr. 49 jsou kmitočtové charakteristiky hladin akustického tlaku hlubokotónové jednotky o impedanci 8 Ω v blízkém poli ( $l = 0,2 \text{ m}$ ), a ve vzdálenosti  $l = 1 \text{ m}$ . Další důležité měření je měření harmonické zkreslení hlubokotónové jednotky. Změřili jsme zkreslení signálu v uvedené ozvučnici druhou a třetí harmonickou při příkonu 10 VA ve vzdálenosti 1 m (měřeno bez výhybky). Výsledky jsou na obr. 50. Z naměřených výsledků a mnoha dalších neuváděných testů lze tuto jednotku zařadit do nejekvalitnější skupiny vyzařovacích jednotek.

#### Technické údaje

Jmenovitá impedance: 4 Ω (8 Ω).

Max. standardní příkon: 60 VA.

Špičkový hudební příkon: 120 VA.

Kmitočtový rozsah ( $\pm 3 \text{ dB}$ ): 27 Hz až 200 Hz.

Charakteristická citlivost: 86 dB/V/m.

Použité reproduktory: 2x ARN 8604

(2x ARN 8608), pasivní 2. řádu;

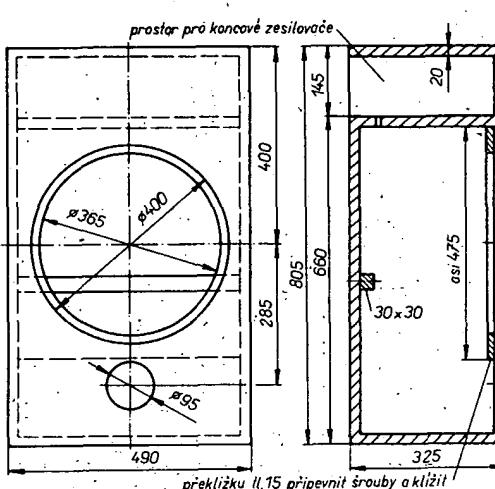
12 dB/okt.

Dělicí kmitočet: 155 Hz.

Druh ozvučnice: bassreflexová.

Volný objem ozvučnice: 70  $\text{dm}^3$ .

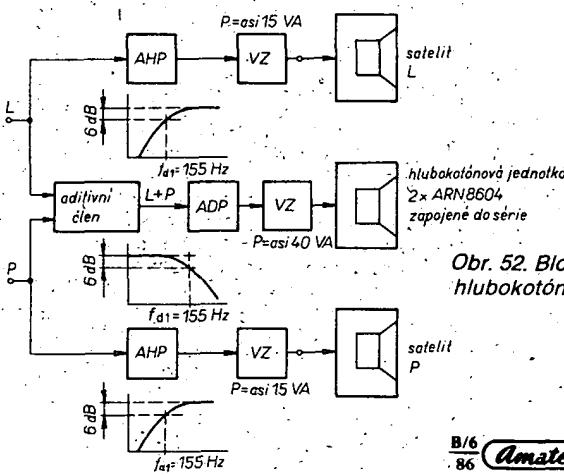
Vnější rozměry (v × š × h): 660 × 490 × 320 mm.



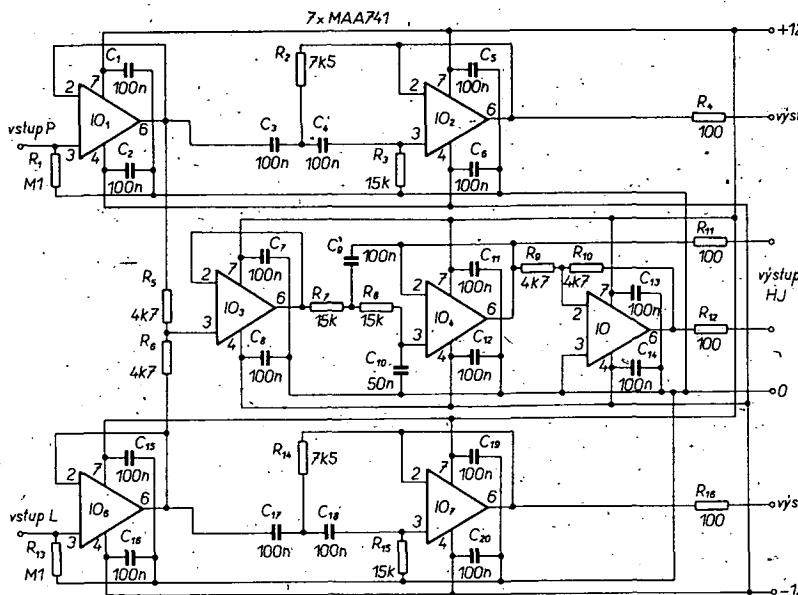
#### Výhybky

V této hlubokotónové jednotce jsme použili zapojení typu F, uvedené v článku 2.5. Signál pro napájení společné hlubokotónové jednotky je vytvořen elektrickým aditivním členem. Dále je pak omezen aktivní dolní propustí a zesilován.

Obr. 51. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice aktivní hlubokotónové jednotky o objemu  $79 \text{ dm}^3$



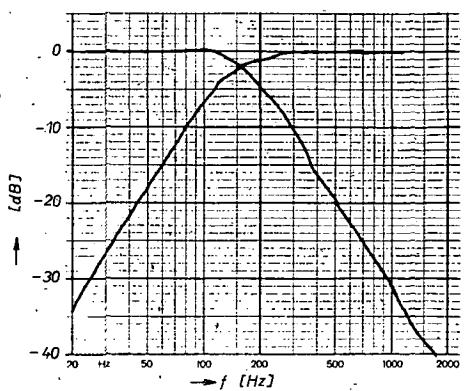
Obr. 52. Blokové schéma zapojení aktivní hlubokotónové jednotky o objemu  $79 \text{ dm}^3$  se satelity



Obr. 53. Schéma zapojení aktivní výhybky pro hlubokotónovou jednotku o objemu 79 dm<sup>3</sup>

výkonovým zesilovačem. Na výstupu zesilovače jsou zapojeny dva reproduktory ARN 8604 do série. Výsledná impedance jednotky je  $8\Omega$ . Při požadavku impedance  $4\Omega$  bychom na výstup výkonového zesilovače zapojili dva reproduktory ARN 8608 paralelně. Blokové schéma zapojení aktivní jednotky je na obr. 52. Konkrétní schéma realizované aktivní výhybky s IC MAA741 je na obr. 53. Zámrně neuvádí-

me schéma zapojení koncových zesilovačů, neboť se domníváme, že na stránkách AR a v odborné literatuře jich byl publikován takový počet, že si čtenář vybere sám. Na obr. 54 je předloha pro zhotovení desky s plošnými spoji aktivních výhybek. Abychom ověřili správnost zvolené konцепce aktivních filtrů, změřili jsme kmitočtové charakteristiky této aktivní výhybky, výsledek je na obr. 55. Celkový vzhled



Obr. 55. Kmitočtová charakteristika aktivní výhybky

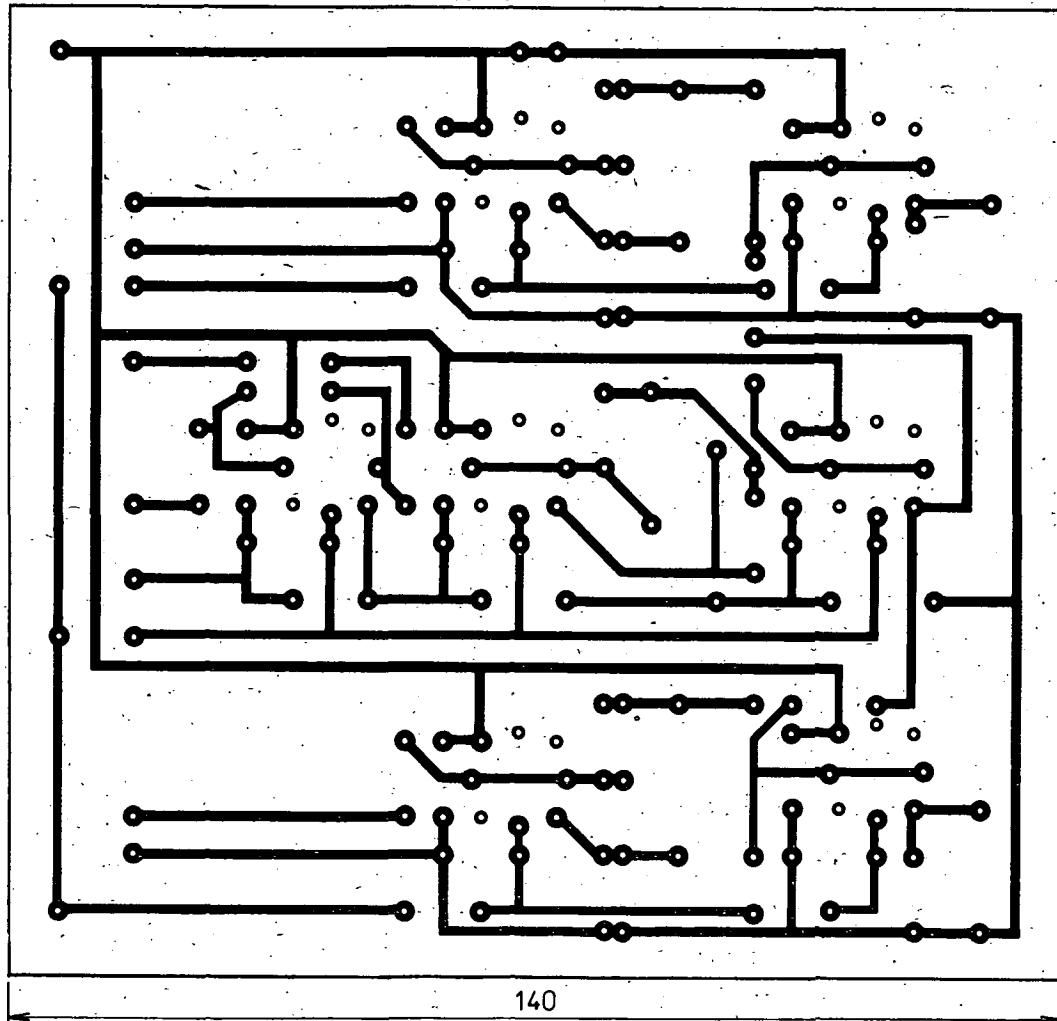
zhotoveného vzorku aktivních výhybek je zřejmý z obr. 56.

#### Náměřené výsledky

Vzhledem ke stejnemu objemu ozvučnice a použitým reproduktorem jsou elektroakustické vlastnosti této jednotky stejné jako u jednotky v článku 4.4 – proto je nebudeme znova uvádět.

#### Technické údaje

Parametry této jednotky až na to, že jsou v ní použity místo pasivních výhybek výhybky aktivní, jsou stejné jako u jednotky v článku 4.4. Na tomto místě je třeba připomenout, že aktivní jednotky mají nesporně některé přednosti oproti jed-



Obr. 54. Deska s plošnými spoji U234

notkám s pasivními součástkami. Aktivní výhybky rozdělují kmitočtové pásmo při malých signálech, takže ve filtroch nevznikají výkonové ztráty, ani se neuplatní intermodulační a harmonické zkreslení. Jako nevýhodu lze označit u aktivních jednotek složitější zapojení a mnohem vyšší pořizovací náklady než u pasivních výhybek.

#### 4.6 Hlubokotónová jednotka s malým zkreslením

##### Návrh vyzařovacích jednotek

Na kvalitní reproduktorovou soustavu je mimo jiné kladen požadavek vyzářit akustický signál s dostatečným akustickým tlakem při co nejmenším nelineárním zkreslení. V současné době se konstruují a vyrábějí kvalitní reproduktorové soustavy, ale problémem stále zůstává poměrně značný činitel harmonického zkreslení v oblasti nízkých kmitočtů.

U elektrodynamických reproduktorů dochází ke zkreslení průběhu výchylek membrány zejména z následujících důvodů:

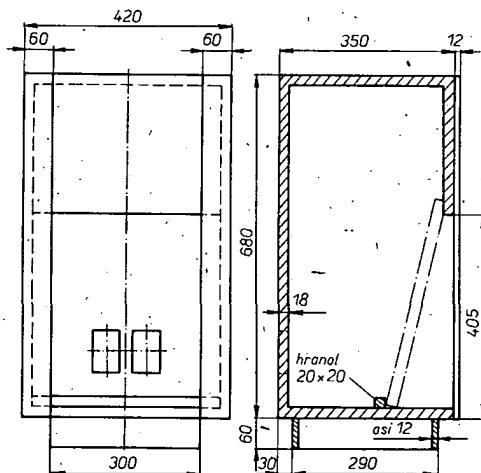
1. Tuhost okraje membrány a středícího zařízení se při velkých výchylkách zvětšuje, kmitací soustava má omezenou možnost rozkmitu, magnetická indukce ve vzduchové mezere není v axiálním směru homogenní, u okrajů je menší a vlivem rozptýlení zasahuje částečně i do prostoru v těsném okolí polových nástavců. Kmitací cívka reproduktoru kmitá při větších příkonech

a hlavně na nízkých kmitočtech se značnou výchylkou a přitom částí zasahuje do míst s menší magnetickou indukcí. Tím vzniká značné tvarové zkreslení průběhu hnací síly  $F$ . Tomuto jevu se dá částečně odpomoci tím, že kmitací cívku zhotovíme v axiálním směru bud delší nebo naopak kratší, než je příslušný rozměr vzduchové mezery. V obou případech je to na úkor účinnosti, proto se opatření používá jen u speciálních reproduktorů. Činitel harmonického zkreslení je u hlubokotónových reproduktorů v oblasti 5 až 10 % při maximálním využití.

2. V horní části kmitočtového pásmá přenášeného hlubokotónovým reproduktorem vzniká vliv indukčnosti kmitající cívky. Tato závislost je vzhledem ke značným výchylkám kmitací cívky nelineární, neboť indukčnost se zmenšuje při pohybu kmitací cívky ven ze vzduchové mezery a zvětšuje při pohybu opačného smyslu.
3. Kmitací cívka reproduktoru není vždy umístěna ve středu polových nástavců magnetu.

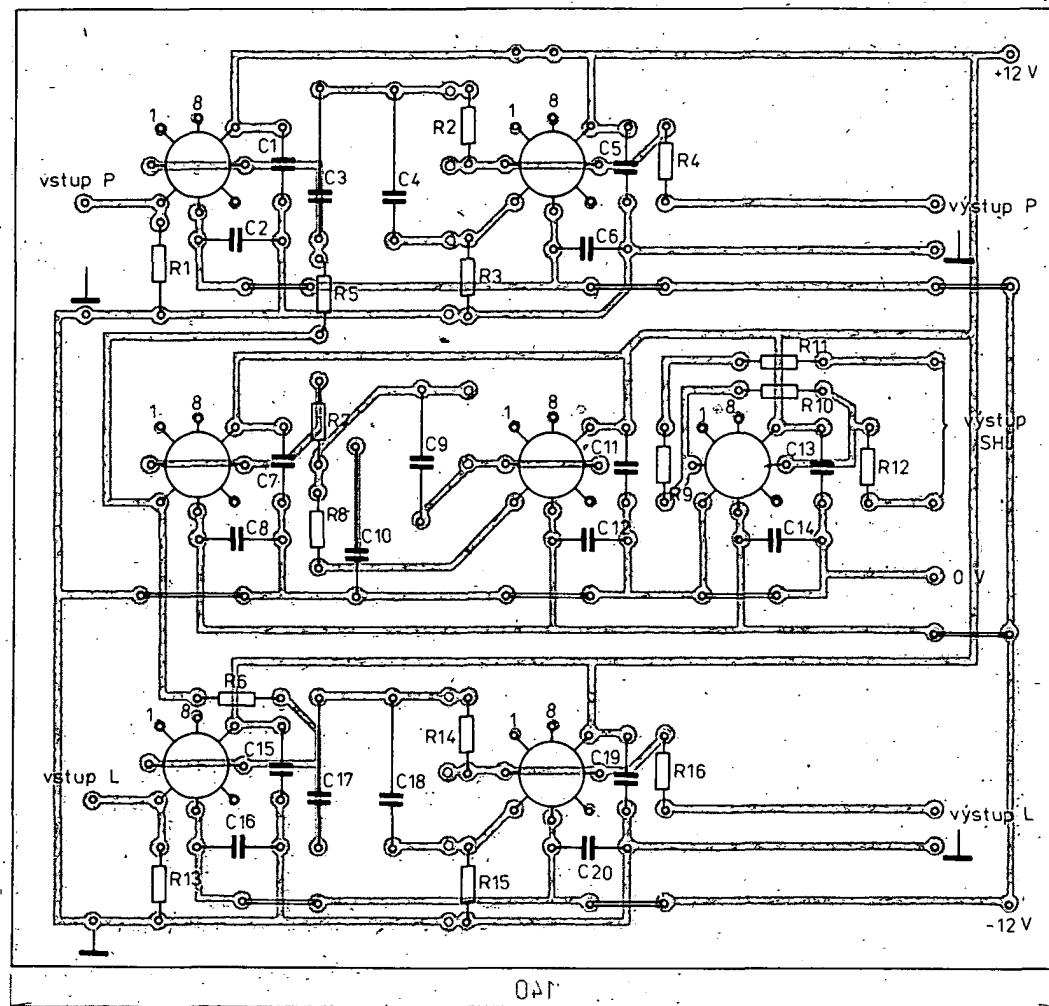
Uvedené nedostatky hlubokotónového reproduktoru lze částečně omezit a tím zmenšit zkreslení při velkých výchylkách membrány – ovšem za předpokladu, že reproduktory budou mít přibližně stejné parametry.

Z výše uvedených důvodů jsme navrhlí hlubokotónovou jednotku s malým zkreslením o vnitřním objemu  $64 \text{ dm}^3$  a s bass-reflexovou ozvučnicí. Tato jednotka se liší od předchozích tím, že reproduktory ani

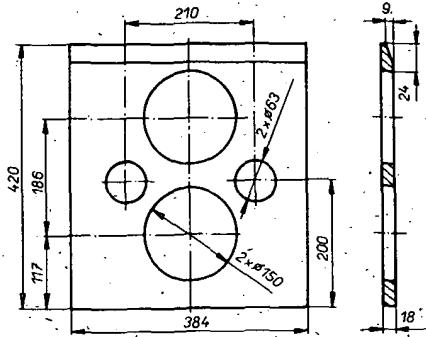


Obr. 57. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice hlubokotónové jednotky s nízkým zkreslením

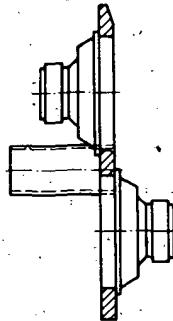
nejsou v tandemě, ani nevyzařují ve stejném směru. Řešení ozvučnice, rozměry a konstrukční uspořádání této hlubokotónové jednotky je na obr. 58. Na této přední stěně této jednotky je na obr. 58. Na této přední stěně jsou dva otvory pro reproduktory typu ARN 5604 a dva otvory pro bassreflexové rezonátory. Reproduktory jsou uspořádány tak, že koš jednoho reproduktoru směřuje do ozvučnice a koš druhého reproduktoru ven z ozvučnice. Pro názornost je náčrtkem upevnění reproduktoru do



Obr. 56. . . a deska, osazená součástkami

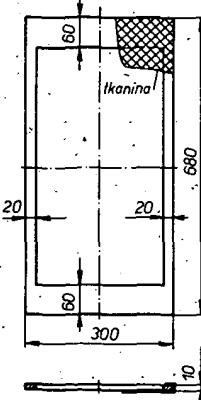


Obr. 58. Přední stěna ozvučnice hlubokotónové jednotky s nízkým zkreslením



Obr. 59. Konstrukční uspořádání přední stěny ozvučnice hlubokotónové jednotky s nízkým zkreslením

přední části ozvučnice na obr. 59. Aby koš reproduktoru nepřečníval ven z ozvučnice, je přední stěna ozvučnice šíkma (viz obr. 57). Tato přední stěna je upevněna na spodní hranol  $20 \times 20$  mm a je vzdálena 150 mm od přední části ozvučnice. Na přední stěně jsou dva otvory pro bassreflexové rezonátory. Rezonátory jsou z novodurových trubky o vnitřním průměru 59 mm a o délce 130 mm. Pro lepší vzhled této hubokotónové jednotky jsme navrhli přední rámeček z tvrdého dřeva, který je potažen elastickou hnedou (nebo černou) tkaninou (viz obr. 60).



Obr. 60. Rámeček s tkánína pro hlubo-  
kotónovou jednotku s nízkým zkreslením

## Výhybky

Zapojení reproduktorů u této hlubokotónové jednotky může být sériové či paralelní, záleží na volbě reproduktorů. Dále tato jednotka může být zapojena k běžné-

mu stereofonnímu zesilovači, nebo ke stereofonnímu zesilovači, který má jeden kanál s otočenou polaritou vůči druhému. To znamená, že bud bude signál na nízkých kmitočtech sčítán akusticky nebo elektricky. Výhbyky pro tuto soustavu mohou opět být pasivní nebo aktivní a mohou být umístěny uvnitř soustavy nebo mimo soustavu. Z elektrického hlediska je možné tedy zapojit jednotku kterýmkoli ze způsobů A až F, uvedených v kapitole 2. To ovšem už je ponecháno na zájemcích o stavbu této hlubokotónové jednotky s malým zkreslením.

### Naměřené výsledky

Uvádíme výsledky měření při uspořádání, kdy oba reproduktory mají koše dovnitř ozvučnice – klasické uspořádání, obr. 61. Na tomto obrázku jsou kmitočto-

notek. Jedinou nevýhodou vůči uspořádání v tandemu je to, že ozvučnice vyžadují větší vnitřní objem. Vzniká také malý problém, jak uspořádat ozvučníci s reproduktory tak, aby koš reproduktoru, který výčnívá ven z ozvučnice, byl v úrovni přední stěny ozvučnice.

### *Technické údaje*

<i>Jmenovitá impedance:</i>	4 Ω (8 Ω).
<i>Kmitočtová charakteristika:</i>	40 až $f_{d1}$ Hz.
<i>Max. standardní příkon:</i>	30 VA.
<i>Špičkový hudební příkon:</i>	60 VA.
<i>Charakteristická citlivost:</i>	87 dB/VA/m.
<i>Použitý reproduktor:</i>	2x ARN 5604 (2x ARN-5608) bassreflexová.
<i>Druh ozvučnice:</i>	62 dm <sup>3</sup> .
<i>Volný objem ozvučnice:</i>	680 x 420 x 360 mm.
<i>Vnější rozměry (v x š x h):</i>	
<i>Nelineární zkreslení při příkonu 10 VA</i>	
40 až 125 Hz:	3 %,
125 až 250 Hz:	2 %.

## 5. Reproduktorové soustavy malého objemu – satelity

Popsané hlubokotónové jednotky přenášejí akustické signály nejnížších kmitočtů do kmitočtu 150 až 200 Hz. Nad tímto kmitočtem je třeba navázat další využávací jednotky, které by byly schopné vyzářit signály až do kmitočtu 18 000 Hz (nebo 20 000 Hz). Reproduktové soustavy malého objemu – satelity – tvoří spolu s hlubokotónovou jednotkou kvalitní reproduktovou kombinaci schopnou přenášet signály prakticky celého slyšitelného pásma. Satelity mohou být koncipovány s jedním širokopásmovým reproduktorem nebo nejčastěji jako dvoupásmové soustavy.

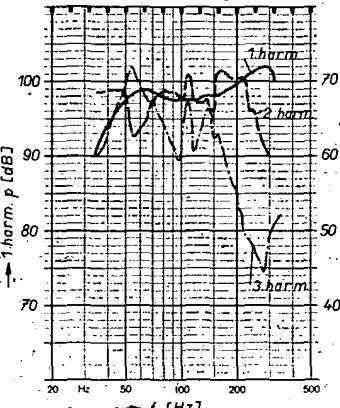
V této kapitole budeme postupně uvádět konstrukční podklady ke zhotovení několika satelitních jednotek, lišících se od sebe objemem, maximálním standardním příkonem a kmitočtovým rozsahem. Konstrukčně jsou řešeny tak, že se dají použít buď jako samostatné reproduktové soustavy, přenášející pásmo signálů od 50 až 60 Hz do 20 000 Hz nebo v případě dolního mezního kmitočtu okolo 200 Hz jen ve spojení s hlubokotonovou jednotkou (subwoofer).

## 5.1 Reproduktorová soustava o vnitřním objemu 2,7 dm<sup>3</sup>

## *Návrh vyzařovacích jednotek*

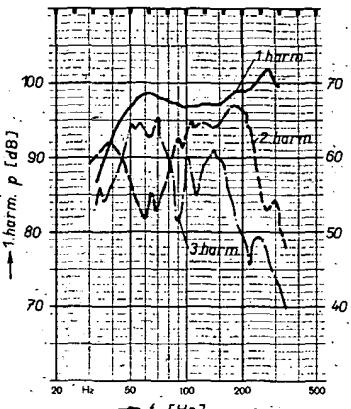
- Reproduktoričová soustava o vnitřním objemu  $2,7 \text{ dm}^3$  je malá dvouzářmová jednotka určená k reprodukci signálů ve spojení s hluškotónovou jednotkou o objemu do  $35 \text{ dm}^3$  a příkonu do 20 VA. Tuto jednotku není možno pro kvalitní reprodukci používat samostatně bez hluškotónové jednotky, neboť její kmitočtový rozsah je od 200 Hz do 20 000 Hz. Jako samostatná jednotka by splňovala požadavky na reprodukci řeči, nikoli hudebního signálu.

Tato reproduktoriční soustava je osazena dvěma reproduktory. – upraveným středotonovým reproduktorem ARZ 4604 (ARZ 4608) a vysokotonovým reproduktorem ARV 3604 (ARV 3608). Původní reproduktor ARZ 4604 je opatřen válcovým krytem z plastické hmoty o vnitřním objemu asi  $1 \text{ dm}^3$ . Dolní mezní kmitočet reproduktoru je až  $300 \text{ Hz}$ . Po odstranění krytu a vložení reproduktoru ARZ 4604 do skříňky o objemu  $2,7 \text{ dm}^3$  se posune jeho dolní mezní kmitočet na  $200 \text{ Hz}$ , což je postačující pro navázání na hlubokotonovou jednotku.

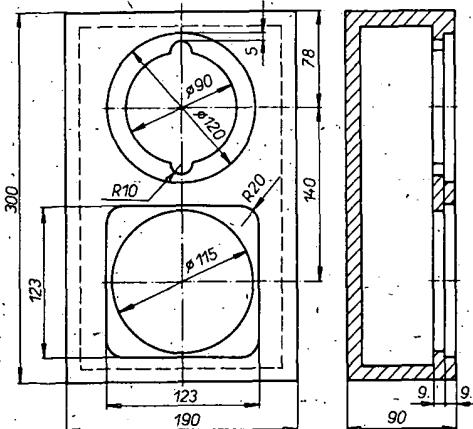


Obr. 61. Kmitočkové průběhy 1, 2. a 3. harmonické hlubokotónové jednotky – uspořádání klasické. Měřeno při příkonu 10 VA ( $U_g = 2 \times 6,32$  V) ve vzdálenosti 1 m

vé charakteristiky první, druhé a třetí harmonické, měřené při příkonu 10 VA. Dále uvádíme výsledky měření při uspořádání, kdy jeden reproduktor má koš dovnitř ozvučnice a druhý ven z ozvučnice tak, jak je naznačeno na obr. 59. Na obr. 62 jsou uvedeny kmitočtové charakteristiky opět první, druhé a třetí harmonické, měřené při příkonu 10 VA. Měření zkreslení v obou případech bylo vyhodnoceno od kmitočtu 40 do 250 Hz. Porovnáme-li tato dvě měření, je prokazatelně vidět, že zkreslení při netradičním uspořádání je menší než v klasickém uspořádání v průměru o 6 dB. Je vidět, že netradiční uspořádání reproduktorů přináší především menší zkreslení, což je jedním z důležitých požadavků u hlubokotónových jed-



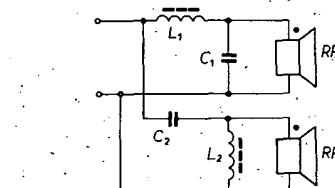
Obr. 62. Kmitočkové průběhy 1, 2. a 3. harmonické hlubokotónové jednotky - uspořádání pro malá zkreslení. Měřeno při příkonu 10 VA ( $U_g = 2 \times 6,32$  V) ve vzdálenosti 1 m



Obr. 63. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu  $2,7 \text{ dm}^3$

#### Řešení ozvučnice

U této reproduktorové soustavy je použita uzavřená ozvučnice, jejíž konstrukční uspořádání a rozměry jsou uvedeny na obr. 63. Hloubka ozvučnice díky upravenému reproduktoru ARZ 4604 mohla být zvolena velmi malá (90 mm), což umožnuje pověsit reproduktoru soustavu na zeď nebo umístit do velmi mělkého prostoru bytové stěny nebo knihovny. Před reproduktory této soustavy je možné připevnit rámeček z tvrdého dřeva potažený elasticíkou tkaninou, perforovaný plech nebo ochranné mřížky z plastické hmoty. Tuto víceméně dešignovou stránku po-necháváme na zájemcích o stavbu této



Obr. 64. Schéma zapojení výhybky satelitní jednotky o objemu  $2,7 \text{ dm}^3$

soustavy. Vnitřní prostor ozvučnice je vyplněn molitanem tl. 3 mm, který je volně uložen v prostoru ozvučnice.

#### Výhybka soustavy

U soustavy jsme zvolili pasivní výhybku druhého řádu se směrnicí kmitočtového průběhu  $12 \text{ dB}/\text{okt}$ . Schéma zapojení výhybky je na obr. 64. Součástky výhybky pro impedance soustavy 4 a  $8 \Omega$  jsou uvedeny v tab. 7. Tlumivky jsou vzdutové, samonosné, navinuté na přípravku o  $\varnothing 40 \text{ mm}$  a šířce 20 mm CuL drátem o  $\varnothing 1 \text{ mm}$ . Počet závitů pro  $L_1$  je 133, pro  $L_2$  84 závitů (impedance jednotky  $4 \Omega$ ). Pro verzi  $8 \Omega$  je třeba 192 závitů pro cívku  $L_1$  a 125 závitů pro cívku  $L_2$  (drát má stejný průměr; 1 mm). Dělící kmitočet výhybky je zvolen poněkud netradičně. Je to způsobeno tím, že indukčnost cívek a kapacita kondenzátorů výhybky byly „daladovány“ tak, aby se dosáhlo co nejvyrovnanějšího průběhu kmitočtové charakteristiky soustavy. Zvolíme-li dělící kmitočet hlubokotonové jednotky  $f_{d1} = 200 \text{ Hz}$  (který je roven dolnímu meznímu kmitočtu výše uvedené jednotky), pak v horní propusti pasivní výhybky v hlubokotonové jednotce

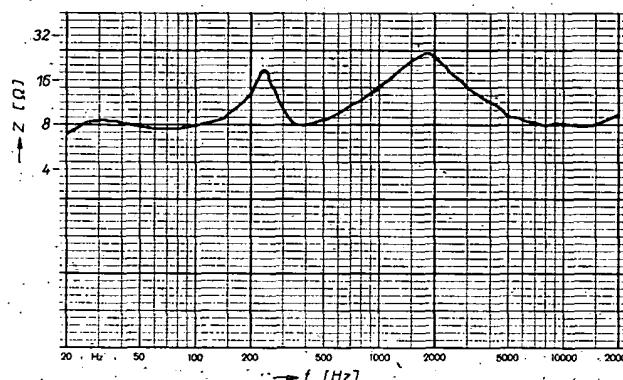
Tab. 7. Údaje součástek výhybky (k obr. 64)

Osazení	Impedance [ $\Omega$ ]	$L_1$ [mH]	$L_2$ [mH]	$C_1$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_2$ [ $\mu\text{F}$ ]
RP <sub>1</sub> -ARZ 4604	4	0,88	0,38	8	6
RP <sub>2</sub> -ARV 3604					
RP <sub>1</sub> -ARZ 4608	8	1,75	0,75	4	3
RP <sub>2</sub> -ARV 3608					

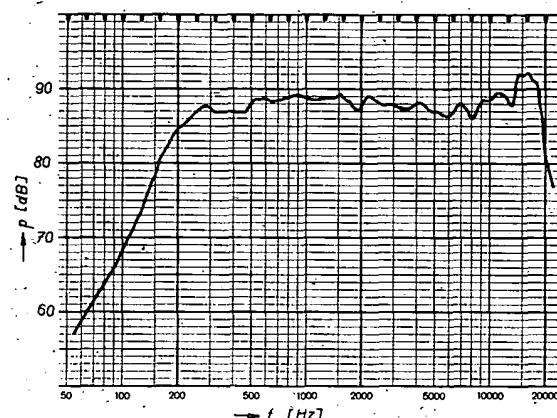
ce odpadnou tlumivky o indukčnosti  $16,4 \text{ mH}$ . Činnost horní propusti bude totiž nahrazena průběhem kmitočtové charakteristiky výše popsaného satelitu (strmost  $12 \text{ dB}/\text{okt}$ ). Pak k oddělení a impedančnímu přizpůsobení postačí pouze kondenzátor  $64 \mu\text{F}$ .

#### Naměřené výsledky

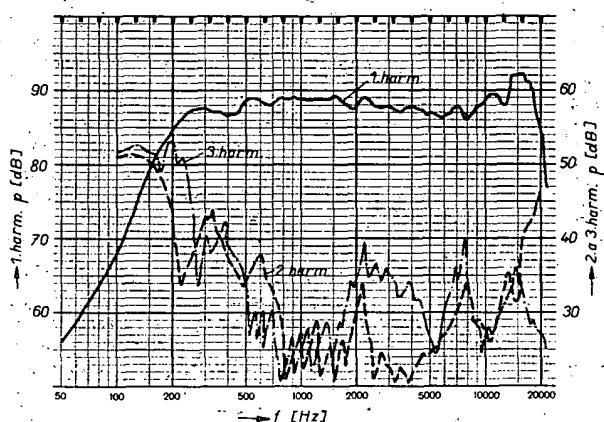
Kmitočtový průběh vstupní impedance této reproduktarové soustavy je uveden na obr. 65. Kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku je patrná z obr. 66. Byla měřena podle příslušné ČSN příkazu  $P = 1 \text{ VA}$  a vzdálenosti  $l = 1 \text{ m}$ . Kmitočtové průběhy harmonických dávají informaci o zkušenosti soustavy. Naměřené průběhy první, druhé a třetí harmonické v celém pásmu (100 Hz až  $20 000 \text{ Hz}$ ) jsou na obr. 67. Průběhy byly změřeny při příkonu  $P = 1 \text{ VA}$  a vzdálenosti  $l = 1 \text{ m}$  od soustavy. Kmitočtové charakteristiky první až třetí harmonické při příkonu  $P = 15 \text{ VA}$  ( $U_g = 10,95 \text{ V}$ ) ve vzdálenosti  $l = 1 \text{ m}$  byly měřeny přes příslušný filtr podle ČSN 36 8265. Naměřené výsledky jsou dokumentovány na obr. 68.



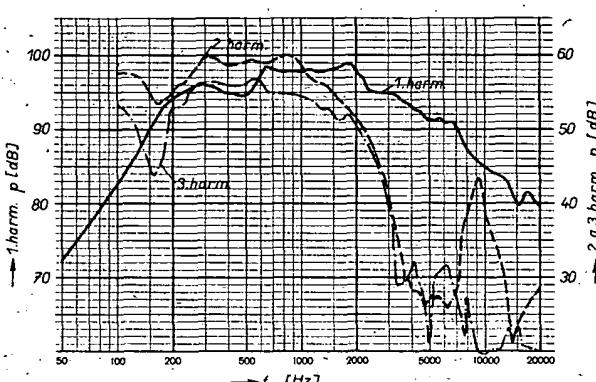
Obr. 65. Kmitočtový průběh vstupní impedance satelitní jednotky o objemu  $2,7 \text{ dm}^3$



Obr. 66. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu  $2,7 \text{ dm}^3$



Obr. 67. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu  $2,7 \text{ dm}^3$ . Měřeno při příkonu 1 VA ( $U_g = 2,83 \text{ V}$ ) ve vzdálenosti 1 m



Obr. 68. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu  $2,7 \text{ dm}^3$ . Měřeno při příkonu 15 VA

ření této reproduktorské soustavy malého objemu, dojdeme k závěru, že jde o velmi kvalitní jednotku, určenou pro přenos středních a vysokých kmitočtů. Při provozu ji doporučujeme používat vždy ve spojení s hlubokotónovými jednotkami, neboť samotná má dolní mezní kmitočet 200 Hz.

#### Technické údaje

Jmenovitá impedance:	8 $\Omega$ (4 $\Omega$ ).
Max. standardní příkon:	20 VA.
Špičkový hudební příkon:	40 VA.
Kmitočtový rozsah:	
v tolerančním poli $\pm 4$ dB:	200 až 20 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	88 dB/VA/m.
Použité reproduktory:	ARZ 4608; ARV 3608 (ARZ 4604; ARV 3604).
Výhybky:	2. rádu; 12 dB/okt.
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Volný objem ozvučnice:	2,5 dm <sup>3</sup> .
Vnější rozměry (v $\times$ š $\times$ h):	300 $\times$ 100 $\times$ 90 mm.

V případě, že bychom požadovali kmitočtovou charakteristiku od 180 Hz, je nutný vnitřní objem ozvučnice 3,8 dm<sup>3</sup>. Rozměry reproduktorské soustavy jsou pak (v  $\times$  š  $\times$  h) 320  $\times$  210  $\times$  100 mm. Ostatní parametry stejně jako u soustavy o vnitřním objemu 2,7 dm<sup>3</sup>.

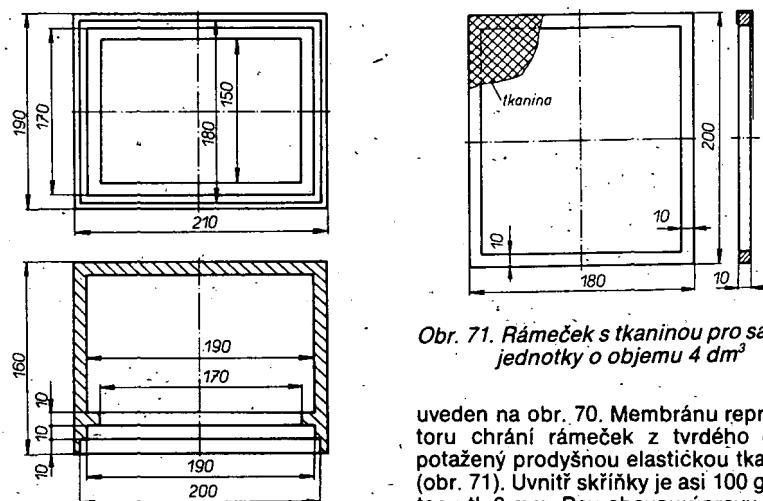
#### 5.2 Reproduktorská soustava o vnitřním objemu 4 dm<sup>3</sup>

##### Návrh vyzařovacích jednotek

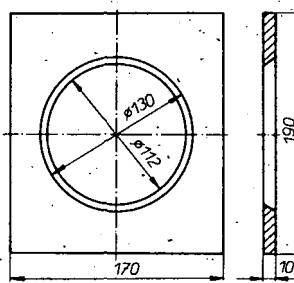
Reprodukorská soustava o vnitřním objemu 4 dm<sup>3</sup> je levná a jednoduchá jednopásmová reproduktorská soustava, určená k reprodukci signálů v pásmu 100 Hz až 15 000 Hz se standardním příkonem 15 VA. Je osazena širokopásmovým reproduktorem s označením ARN 4704 (ARN 4708). Tento reproduktor je jedním z nejnovějších výrobků k. p. TESLA Valašské Meziříčí a zřejmě nebude ještě na trhu v takovém množství, aby byli uspokojeni všichni zájemci. Soustava může být použita jako samostatná vyzařovací jednotka pro přenos hudebního signálu např. k minivéži. Samozřejmě vzhledem k jejímu objemu je omezen přenos signálů na nízkých kmitočtech. Rezonanční kmitočet použitého reproduktoru je velmi nízký (fr = 55 Hz) a můžeme tedy i při relativně malém vnitřním objemu soustavy dostat velmi uspokojivé výsledky. Přes uvedené možnosti využití reproduktorské soustavy ji doporučujeme provozovat především s hlubokotónovými jednotkami. Hlubokotónová jednotka by měla mít objem od 25 do 35 dm<sup>3</sup> a příkon 30 VA. Vzhledem k nízké pořizovací ceně satelitních jednotek bychom navrhovali použít hlubokotónovou jednotku s dvěma reproduktory ARN 5604 (ARN 5608) v tandemu a společný signál vytvořit co nejjednodušším zapojením, tj. např. typu C a D, které byly v kapitole 2.

##### Riešení ozvučnice

Ozvučnice této soustavy tvoří zcela uzavřená skříňka, jejíž rozměry a konstrukční uspořádání jsou na obr. 69. Stěny ozvučnice jsou zhotoveny z překližky tl. 10 mm. Přední stěna ozvučnice, na kterou je zejména přišroubován reproduktor ARN 4704 (ARN 4708), je rovněž z překližky tl. 10 mm, její konstrukční výkres je



Obr. 69. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu 4 dm<sup>3</sup>



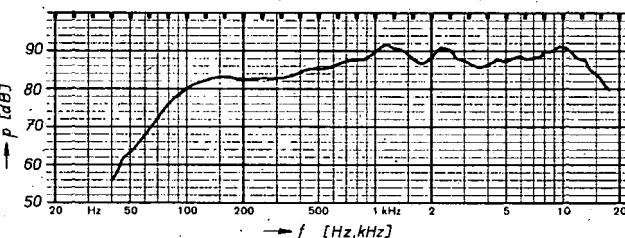
Obr. 70. Přední stěna ozvučnice satelitní jednotky o objemu 4 dm<sup>3</sup>

Obr. 71. Rámeček s tkaninou pro satelitní jednotky o objemu 4 dm<sup>3</sup>

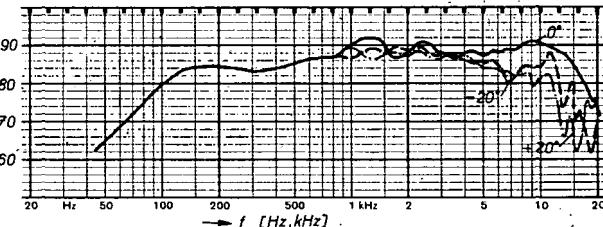
uváděn na obr. 70. Membránu reproduktoru chrání rámeček z tvrdého dřeva, potažený prodyšnou elastickou tkaninou (obr. 71). Uvnitř skřínky je asi 100 g molitanu tl. 3 mm. Povrchovou úpravu ponecháme na čtenářích, kteří ji zřejmě přizpůsobí úpravě hlubokotónové jednotky tak, aby s ní byla v souladu.

##### Naměřené výsledky

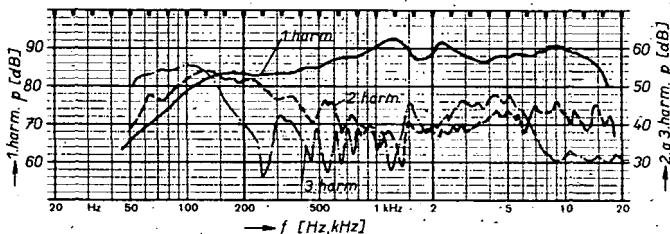
U této satelitní jednotky jsme změřili řadu parametrů, z nichž některé uvádíme v následujících obrázcích. Kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku je na obr. 72, byla změřena při příkonu  $P = 1$  VA ve vzdálosti  $l = 1$  m od soustavy. Dále byly měřeny směrové vlastnosti, při úhlech  $\pm 20^\circ$  (obr. 73). Průběhy první, druhé a třetí harmonické, dávající informaci o zkreslení soustavy, jsou na obr. 74. Výsledky uváděných měření řadí reproduktorskou soustavu o vnitřním objemu 4 dm<sup>3</sup> do střední kvalitativní třídy. Ve spojení s hlubokotónovou jednotkou však vzniká poměrně kvalitní reprodukční zařízení.



Obr. 72. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu 4 dm<sup>3</sup>



Obr. 73. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu 4 dm<sup>3</sup>



Obr. 74. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu 4 dm<sup>3</sup>

### Technické údaje

Jmenovitá impedance:	4 $\Omega$ (8 $\Omega$ )
Max. standardní příkon:	15 VA.
Špičkový hudební příkon:	30 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli $\pm 5$ dB:	100 Hz až 16 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	88 dB/1 VA/1 m.
Použité reproduktory:	ARN 4704 (ARN 4708).
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Volný objem:	3,8 dm <sup>3</sup> .
Rozměry (v x š x h):	210 x 190 x 160 mm.

### 5.3 Reproduktarová soustava o vnitřním objemu 5,5 dm<sup>3</sup>

#### Návrh vyzařovacích jednotek

Satelitní jednotka o vnitřním objemu 5,5 dm<sup>3</sup> je dvoupásmová soustava s uzavřenou ozvučnicí a standardním příkonem 15 VA. Jako samostatnou jednotku ji lze zařadit mezi středně kvalitní soustavy a ve spojení s hlubokotónovou jednotkou pak vznikne kvalitní reproduktarová kombinace pro přenos stereofonního signálu. Pro přenos signálů nízkých a středních kmitočtů je soustava osazena reproduktorem ARN 5604 o jmenovité impedance 4  $\Omega$ . Pro impedance 8  $\Omega$  použijeme reproduktor ARN 5608. Pro přenos vysokých kmitočtů je určen reproduktor ARV 081 (4  $\Omega$ ), pro impedance 8  $\Omega$  použijeme typ ARV 088.

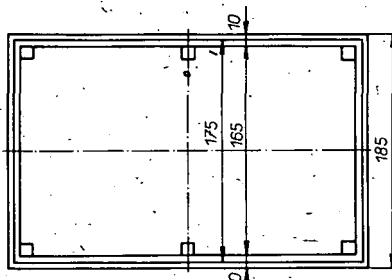
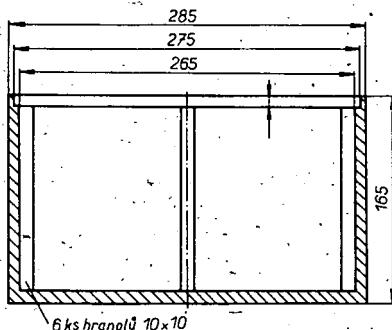
#### Řešení ozvučnice

Ozvučnice této jednotky tvoří zcela uzavřená skřínka, jejíž konstrukční uspořádání a rozměry jsou na obr. 75. Ozvučnice je zhotovena z překližky tl. 10 mm. Přední stěna ozvučnice, na které jsou připevněny reproduktory, má také tloušťku 10 mm a je též z překližky (obr. 76). Povrchovou úpravu ponecháme na výkusu a možnostech zájemců o stavbu.

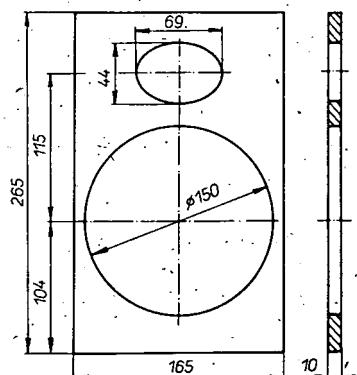
Na přední stěnu ozvučnice upevníme rámeček z tvrdého dřeva, který je potažen elastickou dostatečně prodyšnou tkaničkou, která jednak slouží k ochraně membrán reproduktorů před mechanickým poškozením a jednak udává vnější vzhled soustavy. Rámeček je obvyklé konstrukce jako v předešlých případech. Jako tlumivou ozvučnice je použito asi 160 g molitanu tl. 3 mm, rozloženého po celém objemu skřínky.

#### Výhybky

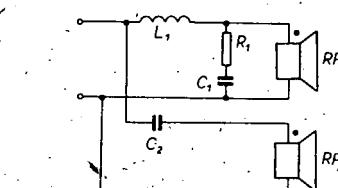
Výhybka pro tuto soustavu je 1. řádu se strmostí kmitočtové charakteristiky 6 dB/okt. V jednotce jsou použity nejlevnější reproduktory, proto jsme volili i jednoduchou nenákladnou výhybku. Schéma



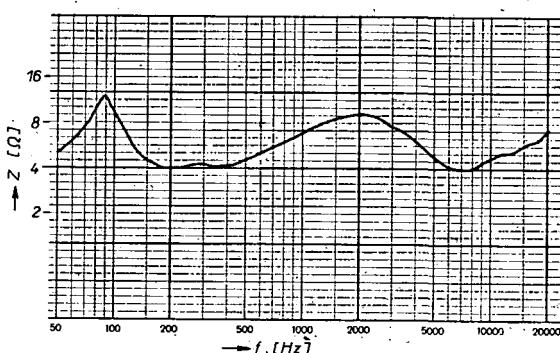
Obr. 75. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu 5,5 dm<sup>3</sup>



Obr. 76. Přední deska ozvučnice satelitní jednotky o objemu 5,5 dm<sup>3</sup>

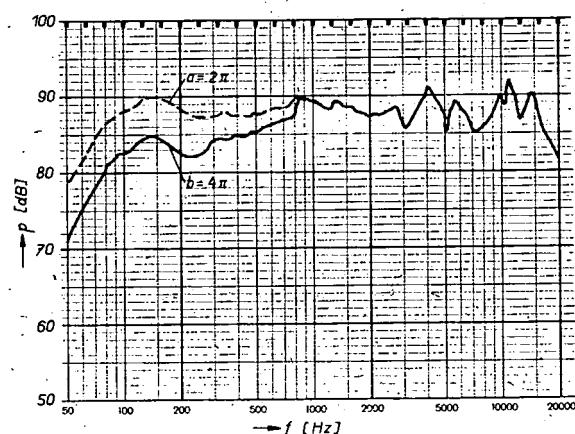


Obr. 77. Schéma zapojení satelitní jednotky o objemu 5,5 dm<sup>3</sup>



Obr. 78. Kmitočtový průběh vstupní impedance satelitní jednotky o objemu 5,5 dm<sup>3</sup>

Obr. 79. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu 5,5 dm<sup>3</sup>



ma zapojení výhybky je ná obr. 77. Údaje stavebních prvků jsou pro impedance 4  $\Omega$  a 8  $\Omega$  v tab. 8. Tlumivka o indukčnosti 0,5 mH nebo 1 mH jezdí vzduchové samosně, vinutá na přípravku o  $\varnothing$  40 mm a šířce 20 mm. Tlumivka s indukčností 0,5 mH je vinutá drátem CuL o  $\varnothing$  1 mm a počet závitů je 100. Pro indukčnost 1 mH je počet závitů 145 drátu stejné tloušťky. Kondenzátor C<sub>2</sub> je složen z kondenzátorů o kapacitě 2  $\mu$ F (pro impedance 4  $\Omega$ ), nebo 2  $\mu$ F a 1  $\mu$ F (pro 8  $\Omega$ ). Kondenzátor je typu TC 450, MP. Kondenzátor C<sub>1</sub> v členu RC kompenzuje zvětšování impedance hlubokotónového reproduktoru nad rezonančním kmitočtem, je elektrolytického typu TE 988.

#### Naměřené výsledky

Kmitočtový průběh vstupní impedance uváděné soustavy je na obr. 78. Kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku, měřená při příkonu  $P = 1$  VA a ve vzdálenosti  $l = 1$  m je na obr. 79. Směrové vlastnosti jednotky měřené v horizontální rovině pro úhly  $\pm 25^\circ$  jsou patrné z obr. 80. Referenčním bodem měření byl střed vysokotónového reproduktoru.

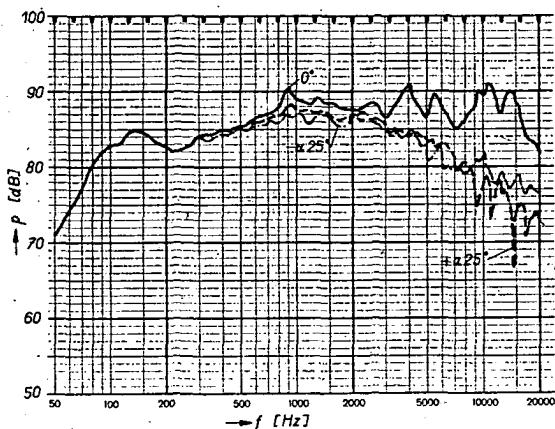
Podle výsledků měření a dalších zkoušek lze tuto vyzařovací jednotku zařadit mezi výrobky dobré kvality. Svémi vlastnostmi je určena k ozvučení menších bytových prostorů. Ve spojení s hlubokotónovou jednotkou vzniká pak kvalitní reprodukční zařízení určené k reprodukci stereofonních signálů.

#### Technické parametry

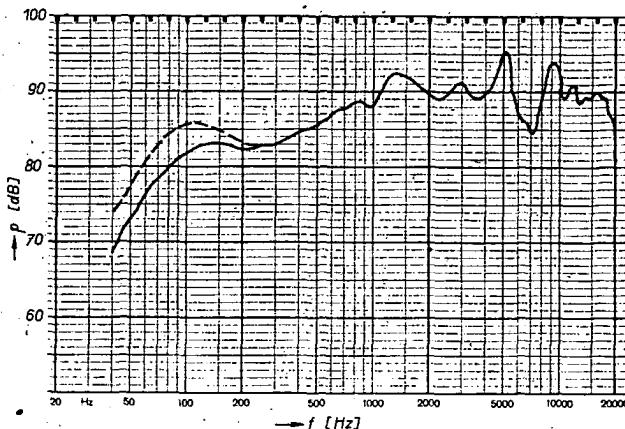
Jmenovitá impedance:	4 $\Omega$ (8 $\Omega$ )
Max. standardní příkon:	15 VA.
Špičkový hudební příkon:	30 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli B podle ČSN:	70 Hz až 16 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	86 dB/1 VA/1 m.
Použité reproduktory:	ARN 5604, ARV 081 (ARN 5608, ARV 088).
Výhybka:	1. řádu; 6 dB/okt.
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Volný objem:	5 dm <sup>3</sup> .
Rozměry (v x š x h):	285 x 190 x 160 mm.

Tab. 8. Údaje součástek výhybky

Osazení	Impedance [Ω]	L <sub>1</sub> [mH]	C <sub>1</sub> [ $\mu$ F]	C <sub>2</sub> [ $\mu$ F]	R <sub>1</sub> [Ω]
RP <sub>1</sub> -ARN 5604 RP <sub>2</sub> -ARV 081	4	0,5	20	6	3,9
RP <sub>1</sub> -ARN 5608 RP <sub>2</sub> -ARV 088	8	1,0	10	3	8,2



Obr. 80. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu  $5.5 \text{ dm}^3$



Obr. 85. Kmitočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu  $9 \text{ dm}^3$

#### 5.4 Reproduktorová soustava o vnitřním objemu $9 \text{ dm}^3$

##### Návrh využívacích jednotek

Reprodukторová soustava o vnitřním objemu  $9 \text{ dm}^3$  je dvoupásmová jednotka s uzavřenou ozvučnicí a standardním příkonem 15 VA. Je určena pro kvalitní přenos stereofonního signálu buď jako samotná nebo ve spojení s hlubokotónovou jednotkou. Pro přenos nízkých a středních kmitočtů je osazena reproduktorem ARN 5604 v případě jmenovité impedance soustavy  $4 \Omega$ , pro verzi  $8 \Omega$  reproduktorem ARN 5608. Pro přenos vysokých kmitočtů je pro impedance  $4 \Omega$  použit vysokotónový reproduktor ARV 161. Pro soustavu  $8 \Omega$  použijeme reproduktor ARV 168.

##### Řešení ozvučnice

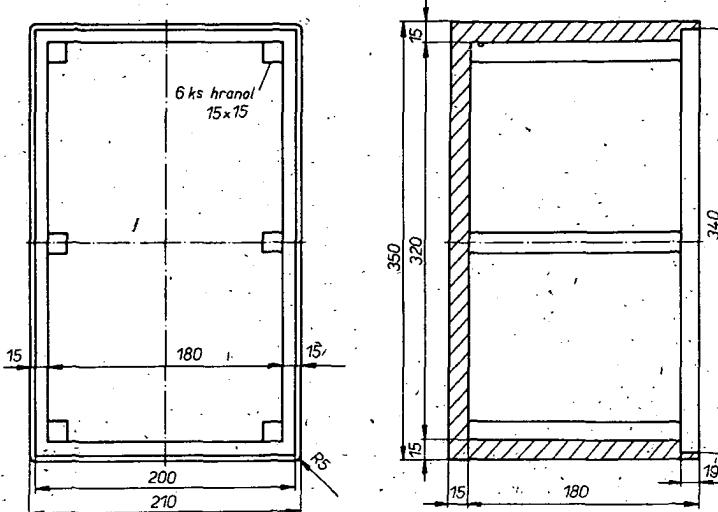
Ozvučnice této reproduktorové soustavy je zcela uzavřená skříňka, jejíž rozměry a konstrukční uspořádání jsou na obr. 81. Stěny ozvučnic jsou zhotoveny z pefkližky tl. 15 mm. Přední stěna ozvučnice, na kterou jsou připevněny reproduktory, je rovněž z pefkližky 15 mm a její konstrukční výkres je na obr. 82. Povrchovou úpravu ponecháme na vlastním výběru a návrhům zájemce o stavbu této jednotky. Ochranný rámeček z tvrdého dřeva je potažen elastickou průzvučnou tkaničkou (je na obr. 83). Může být ovšem zhotoven i např. z perforovaného plechu nebo plastické hmoty. Budeme-li používat tyto jednotky ve spojení s hlubokotónovou jednotkou, doporučujeme přizpůsobit druh povrchové úpravy, tvar ozvučnice a přední rámeček vzhledu hlubokotónové jednotky, aby dílčí jednotky vytvořili po designové stránce jednotné reprodukční zařízení.

##### Výhybky

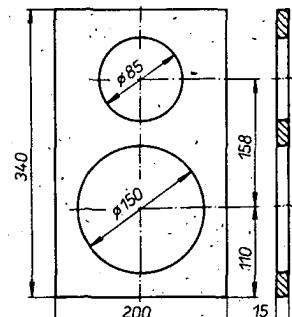
Výhybku pro tuhé soustavu opět s ohledem na pořizovací ceny reproduktorů zvolíme velmi jednoduchou. Reproduktory v závislosti na oddálenosti mezi jednotkami můžeme oddělit pouze jedním kondenzátorem MP, pro impedance  $4 \Omega$  použijeme kondenzátor s kapacitou  $C = 4 \mu\text{F}$  a pro impedance  $8 \Omega$   $C = 2 \mu\text{F}$ . Schéma zapojení této jednoduché výhybky je na obr. 84.

##### Naměřené výsledky

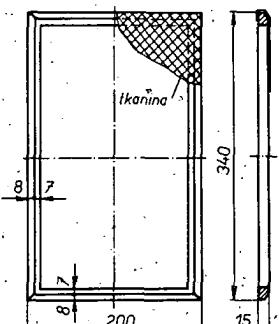
Kmitočtovou charakteristiku hladiny akustického tlaku uvádíme na obr. 85. Byla měřena při příkonu  $P = 1 \text{ VA}$  ve vzdálenosti  $l = 1 \text{ m}$  od soustavy. Měření v blízkém poli je na kmitočtové charakteristice zaznamenáno čárkovaně. Informace o zkreslení reproduktorové soustavy udávají průběhy první až třetí harmonické, měřené při příkonu  $P = 2,5 \text{ VA}$  ve vzdálenosti  $l = 1 \text{ m}$ . Výsledky měření jsou na obr. 86. U této jednotky jsme měřili úroveň harmonických při větším vybuzení ( $P = 16 \text{ VA}$ ) a změněný údaje se pohybují hluboko pod požadavky na zkreslení podle ČSN. Použití této satelitní jednotky



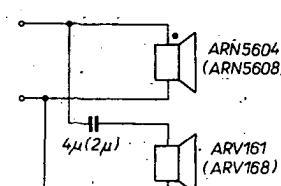
Obr. 81. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu  $9 \text{ dm}^3$



Obr. 82. Přední deska ozvučnice satelitní jednotky o objemu  $9 \text{ dm}^3$



Obr. 83. Rámeček s tkaninou pro satelitní jednotky o objemu  $9 \text{ dm}^3$

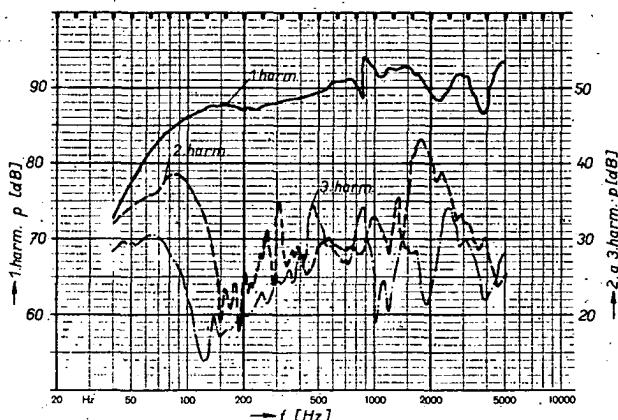


Obr. 84. Schéma zapojení výhybky satelitní jednotky o objemu  $9 \text{ dm}^3$

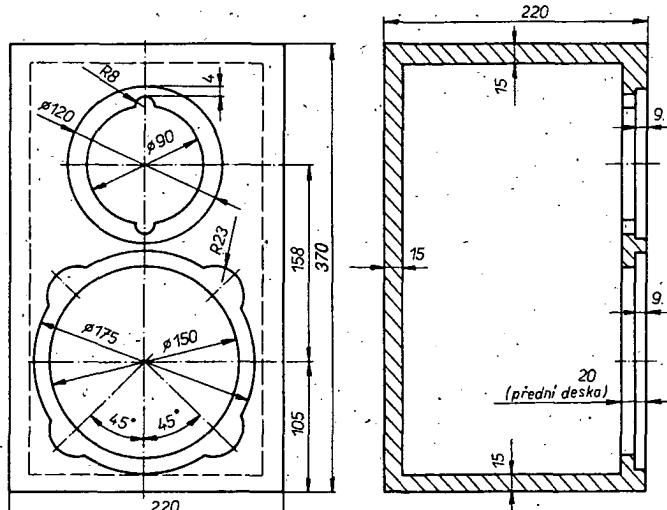
je vzhledem k její jednoduchosti možno doporučit k pasivním hlubokotónovým jednotkám jednoduché koncepcie, např. z článků 2, 3 a 4 kapitoly 4.

##### Technické parametry

Jmenovitá impedance:	$4 \Omega$ ( $8 \Omega$ )
Max. standardní příkon:	15 VA
Spíčkový hudební příkon:	30 VA
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli B podle ČSN:	60 Hz až 18 000 Hz
Charakteristická citlivost:	86 dB/1 VA/1 m
Použité reproduktory:	ARN 5604, ARV 161 (ARN 5608, ARV 168)
Výhybka:	oddělovací kondenzátor:
Druh ozvučnice:	uzavřená
Volný objem:	$8.5 \text{ dm}^3$
Rozměry (v x š x h):	350 x 210 x 195 mm



Obr. 86. Kmitočkové průběhy 1, 2. a 3. harmonické satelitní jednotky o objemu  $9 \text{ dm}^3$



Obr. 87. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$

### 5.5 Reproduktorová soustava o vnitřním objemu $12 \text{ dm}^3$

#### Návrh vyzařovacích jednotek

Reprodukторová soustava o vnitřním objemu  $12 \text{ dm}^3$  je dvoupásmová soustava s uzavřenou ozvučnicí o standardním příkonu 20 VA. Je to soustava s kvalitními parametry, schopná přenášet kmitočtové pásmo od 50 Hz do 20 000 Hz s velmi vyrovnaným kmitočtovým průběhem. To znamená, že se dvěma jednotkami lze stereofonním signálem ozvučit kvalitně běžné obytné místnosti. Ještě lepších výsledků dosáhneme, jestliže tyto dvě jednotky připojíme k hlubokotónové jednotce o větším příkonu (30 VA) s vnitřním objemem  $69 \text{ dm}^3$  nebo  $78 \text{ dm}^3$ . Pak získáme velmi kvalitní reprodukční zařízení schopné přenášet celé akustické pásmo signálů.

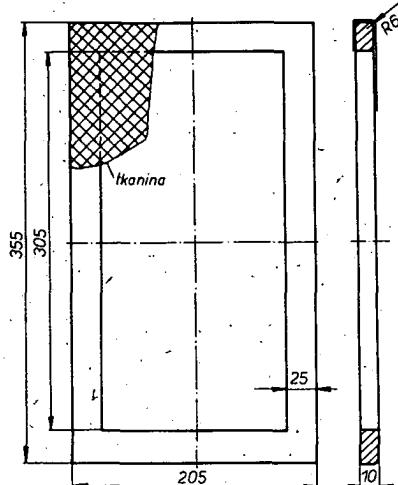
Pro přenos nízkých a středních kmitočtů je použit reproduktor ARN 5604 pro impedanci soustavy  $4 \Omega$ . Při požadavku impedance  $8 \Omega$  použijeme reproduktor ARN 5608. Přenos vysokých kmitočtů zajišťuje reproduktor ARV 3604 (pro impedanci  $8 \Omega$  typ ARV 3608).

#### Řešení ozvučnice

Konstrukční uspořádání a rozměry ozvučnice jsou na obr. 87. Stěny ozvučnice jsou zhotoveny z překližky tl.  $15 \text{ mm}$ . Přední stěna ozvučnice je slepena ze dvou překližek tl.  $10 \text{ mm}$ . Všechny stěny jsou velmi pevně k sobě spojeny a sklíženy tak, aby ozvučnice byla kompaktní a neprodísná. Vnitřní prostor je tlumen molitanem tl.  $3 \text{ mm}$ . Před reproduktory je připevněn rámeček z tvrdého dřeva potažený prodyšnou elastickou tkaninou. Konstrukční výkres s potřebnými rozměry je uveden na obr. 88.

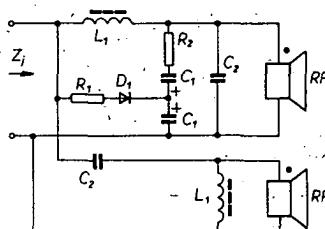
#### Výhybky

Pro tuto dvoupásmovou soustavu jsme zvolili výhybku druhého řádu se strmostí  $12 \text{ dB/okt}$ . Schéma výhybky je na obr. 89.



Obr. 88. Rámeček s tkaninou pro satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$

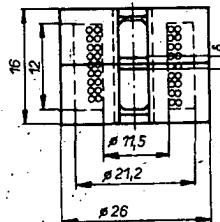
Údaje potřebných součástek jsou jak pro impedanci soustavy  $4 \Omega$ , tak  $8 \Omega$  v tab. 9. Tlumivky  $L_1$  a  $L_2$  jsou zhotoveny na feritovém jádru  $H 12$  s konstantou  $A_L = 160$  (viz obr. 90). Pro indukčnost  $0,5 \text{ mH}$  je třeba 56 závitů drátu  $CuL$  o průměru  $0,56 \text{ mm}$ . Pro indukčnost  $1 \text{ mH}$  je třeba 82 závitů téhož drátu. Všechny součástky tvorící výhybku připájíme na desku s plošnými spoji, jejíž předloha je na obr. 91. Rozložení součástek je na obr. 92.



Obr. 89. Schéma zapojení výhybky satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$

Tab. 9. Údaje součástek výhybky

Osazení	Impedance [ $\Omega$ ]	$L_1$ [mH]	$C_1$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_2$ [ $\mu\text{F}$ ]	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$R_2$ [ $\Omega$ ]	$D_1$
RP <sub>1</sub> -ARN 5604 RP <sub>2</sub> -ARV 3604	4	0,5	50	8	100	2,7	KA207
RP <sub>1</sub> -ARN 5608 RP <sub>2</sub> -ARV 3608	8	1	20	4	100	8,2	KA207



Obr. 90. Tlumivka na feritovém jádře pro satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$

#### Naměřené výsledky

Průběh svorkového napětí na reproduktorech při konstantním napětí na vstupu jednotky je na obr. 93. Kmitočtový průběh vstupní impedance jednotky je na obr. 94. Kmitočtovou charakteristiku hladiny akustického tlaku soustavy uvádíme na obr. 95, je měřena jak v prostoru ( $4\pi$ ), tak v poloprostoru ( $2\pi$ ). Směrové vlastnosti soustavy, měřené v akustické komoře, v horizontální a vertikální rovině jsou na obr. 96 a 97. Z uvedených a mnoha dalších objektivních i subjektivních měření můžeme konstatovat, že jde o kvalitní dvoupásmovou soustavu.

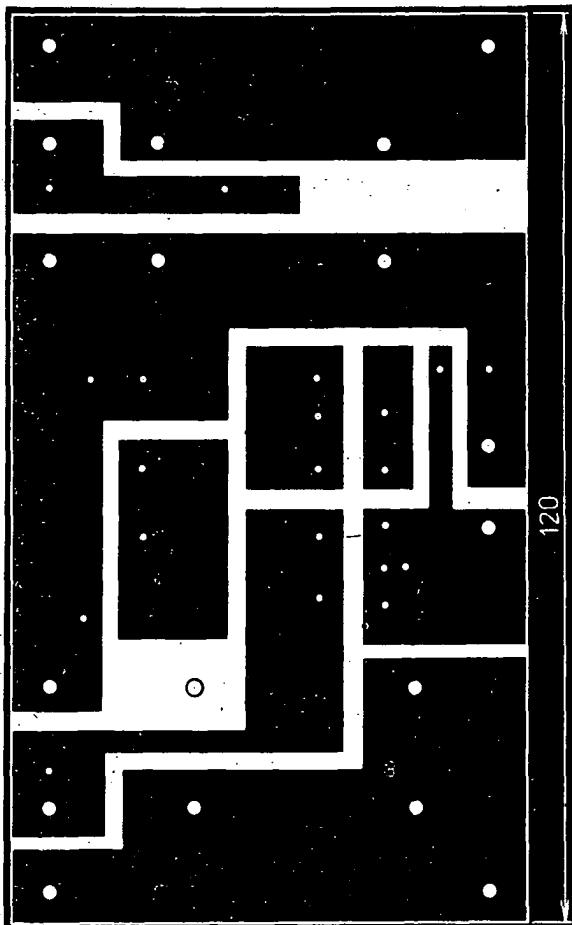
#### Technické parametry

Umenovitá impedance:	$4 \Omega$ ( $8 \Omega$ )
Max. standardní příkon:	20 VA
Špičkový hudební příkon:	40 VA
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli A podle ČSN:	50 Hz až 20 000 Hz
Charakteristická citlivost:	86 dB/1 VA/1 m
Použití reproduktory:	(ARN 5604, ARV 3604 (ARN 5608, ARV 3608)).
Výhybky:	2. řádu; $12 \text{ dB/okt}$ .
Druh ozvučnice:	uzavřená.
Volný objem:	$11,3 \text{ dm}^3$
Rozměry (v x š x h):	$370 \times 220 \times 220 \text{ mm}$

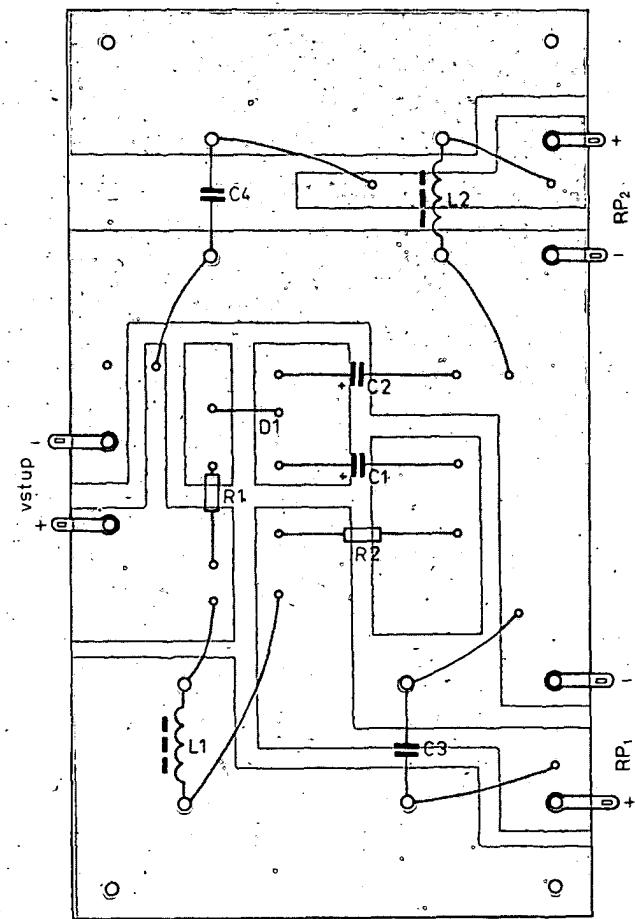
### 6. Třípásmová soustava o vnitřním objemu $37 \text{ dm}^3$

#### Návrh vyzařovacích jednotek

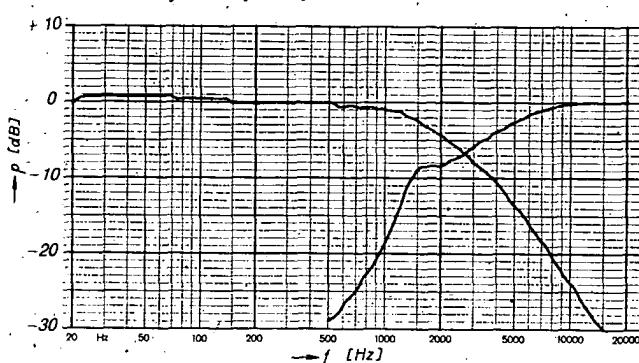
Pro zájemce a zástánce klasických reproduktorových soustav navrhujeme soustavu moderního provedení s bassreflexovou ozvučnicí o vnitřním objemu



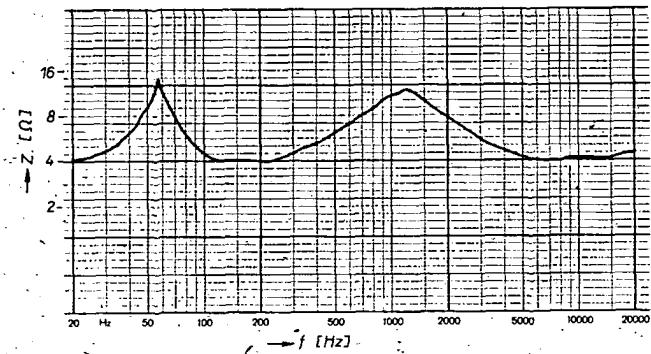
Obr. 91. Předloha pro zhotovení desky s plošnými spoji výhybky pro satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$ .



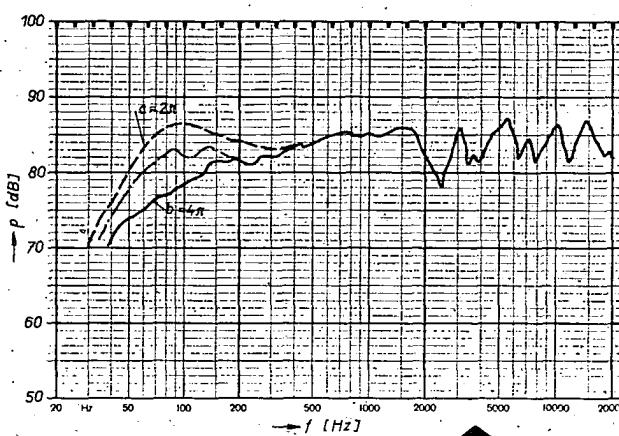
Obr. 92. Rozložení součástek výhybek pro satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$



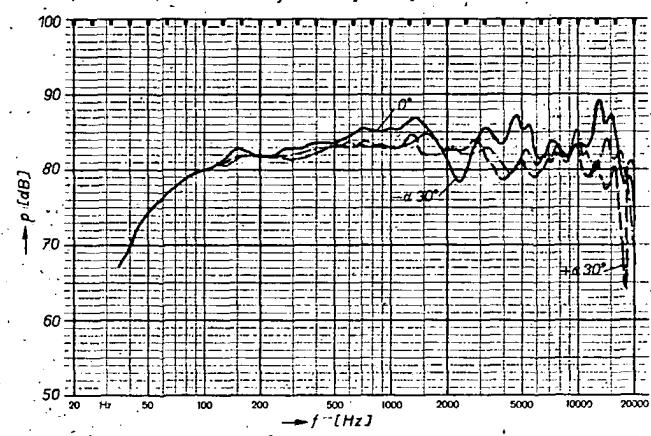
Obr. 93. Průběh svorkového napětí výhybky satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$



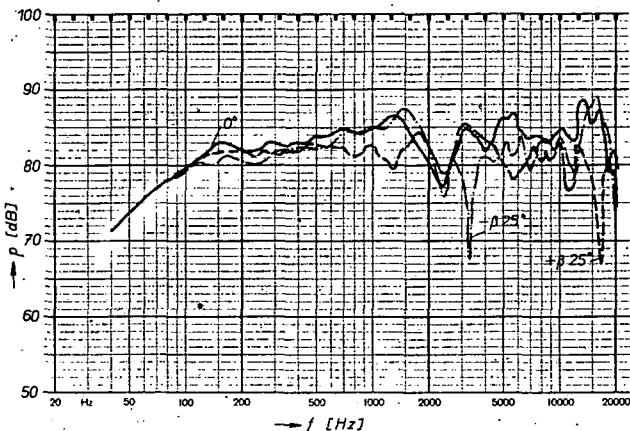
Obr. 94. Kmitočtový průběh vstupní impedance satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$



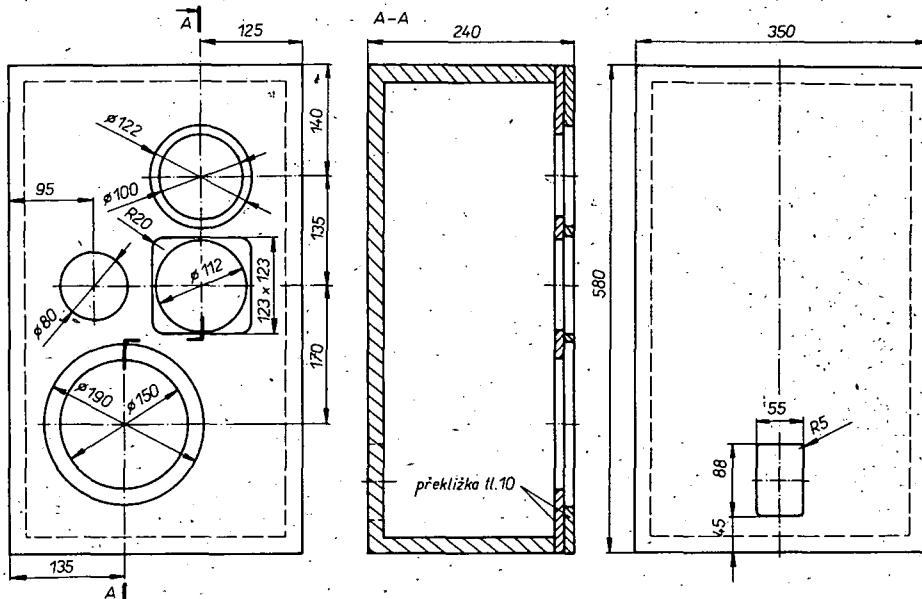
Obr. 95. Kymočtová charakteristika satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$



Obr. 96. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$  v horizontální rovině



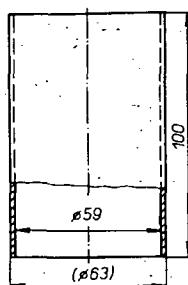
Obr. 97. Směrové vlastnosti satelitní jednotky o objemu  $12 \text{ dm}^3$  ve vertikální rovině



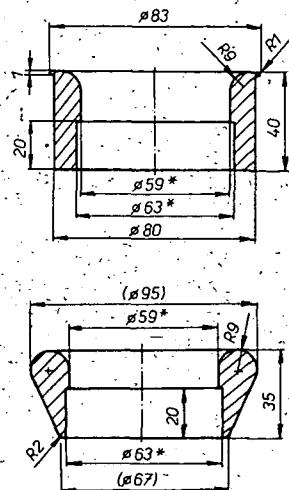
Obr. 98. Rozměry a konstrukční uspořádání ozvučnice třípásmové reproduktoričkové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$

$37 \text{ dm}^3$  a maximálním hudebním příkonu  $45 \text{ VA}$ . Je osazena hlubokotónovým reproduktorem ARN 5608, středotónovým reproduktorem ARZ 4608 a vysokotónovým reproduktorem ARV 3608. Při návrhu této soustavy s bassreflexovou ozvučnicí jsme vycházeli z těchto parametrů hlubokotónového reproduktoru ARN 5608:

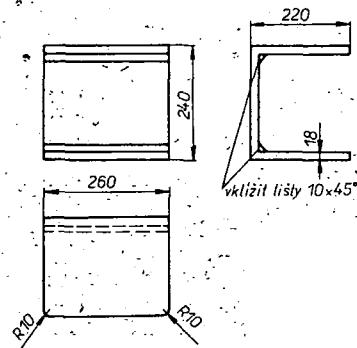
jmenovitá impedance:	$Z_1 = 8 \Omega$
odpor vinutí kmitací cívky:	$R_v = 7,8 \Omega$
jmenovitý příkon:	$P = 15 \text{ VA}$
špičkový příkon:	$P_s = 45 \text{ VA}$
akustická hmotnost kmitacího systému:	$m_{a1} = 64 \text{ kg/m}^4$
Rezonanční kmitočet:	$f_r = 38 \text{ Hz}$
činitel jakosti (elektrický):	$Q_{el,r} = 0,5$
činitel jakosti (celkový):	$Q_{c,r} = 0,45$
charakteristická citlivost:	$\eta = 89 \text{ dB/VA/m}$



Obr. 99. Bassreflexový rezonátor



Obr. 100. Vnější a vnitřní nástavce bass-reflexového rezonátoru



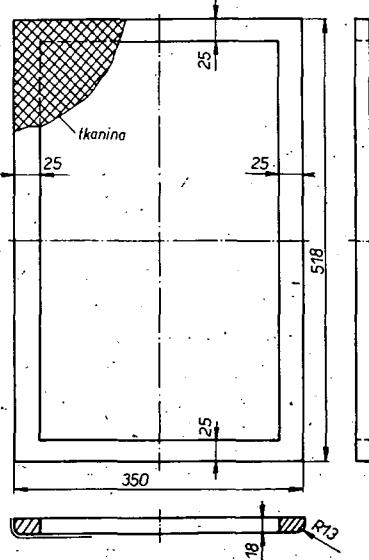
Obr. 101. Stojánek pro třípásmovou reproduktoričkovou soustavu o objemu  $37 \text{ dm}^3$

### Řešení ozvučnice

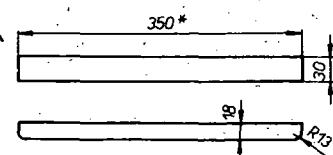
Z uvedených údajů hlubokotónového reproduktoru vypočteme potřebné parametry bassreflexové ozvučnice. Při návrhu vycházíme ze vztahů uvedených v kapitole 3. Dolní mezní kmitočet při vnitřním objemu ozvučnice  $37 \text{ dm}^3$  bude  $f_d = 39 \text{ Hz}$ . Rezonanční kmitočet ozvučnice s bassreflexovým rezonátorem pak bude  $f_{oz} = 37 \text{ Hz}$ . Při zvoleném vnitřním průměru  $D = 59 \text{ mm}$  hrdla rezonátoru bude jeho délka (efektivní)  $l = 125 \text{ mm}$ . Při těchto rozměrech realizujeme potřebnou akustickou hmotnost vzduchu rezonátoru  $m$ , jejíž velikost je  $76 \text{ kg/m}^4$ . Minimální rychlosť vzduchu v hrdle rezonátoru při dolním mezním kmitočtu  $f_d = 39 \text{ Hz}$  bude  $9 \text{ m/s}$ . Základní konstrukční uspořádání ozvučnice a její rozměry jsou patrné z obr. 98. Přední deska ozvučnice je slepena ze dvou překližek tl.  $10 \text{ mm}$ , což usnadní zapuštění vysokotónového a středotónového reproduktoru, aby jejich přední hrany lícovala s přední stěnou ozvučnice.

U druhé ozvučnice stereofonní soustavy je zapotřebí zhotovit přední desku zrcadlově, aby při umístění reproduktoričkových soustav v poslechovém prostoru byly reproduktory situovány symetricky.

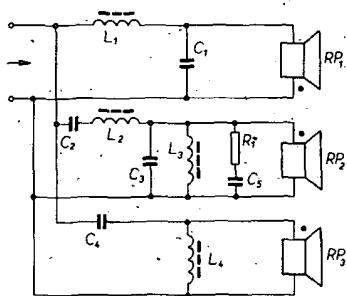
Velikost a průměr bassreflexového rezonátoru zhotoveného z novodurové trubky je vidět na obr. 99. Ke zmenšení nežádoucích turbulencí vzduchu na vstupu a výstupu rezonátoru doporučujeme hrany na obou stranách zaoblít nebo použít obdobné nástavce, které byly popsány u rezonátorů v hlubokotónových



Obr. 102. Rámeček s tkaninou pro třípásmovou reproduktoričkovou soustavu o objemu  $37 \text{ dm}^3$



Obr. 103. Ozdobná lišta pro třípásmovou reproduktoričkovou soustavu o objemu  $37 \text{ dm}^3$



Obr. 105. Schéma zapojení třípásmové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$

jednotkách (rozměry a tvar jsou na obr. 100). Při sestavování je nutno dát důraz na důkladné utěsnění ozvučnice. (Těsnit jak přední desku k ozvučníci, tak reproduktory na přední desku.) Nejvhodnějším materiálem jsou v tomto případě molitanové samolepicí pásky, používané k těsnění oken. Pro dobrý vzhled a optimální umístění doporučujeme zhotovit stojánek z tvrdého dřeva (obr. 101). Pro ochranu membrán reproduktorů a celkový vzhled ozvučnice uvádíme rámeček též z tvrdého dřeva, potažený elastickou tkaninou (obr. 102)..

Ke zlepšení celkového vzhledu soustavy jsou rámečky chránící membrány reproduktorů zakončeny v horní i spodní části ozdobnými lištami ze dřeva (obr. 103).

#### Výhybka soustavy

Pro tuto třípásmovou soustavu je zvolena výhybka druhého řádu s útlumem 12 dB/okt. Schéma výhybky je na obr. 105. Dělicí kmitočet pro výhybku hlubokotónového reproduktoru ARN 5608 zvolíme  $f_{d1} = 621 \text{ Hz}$  (hlavní hlediskem volby dělicího kmitočtu je vyráběná řada kondenzátorů MP (16  $\mu\text{F}$  a 32  $\mu\text{F}$ ). V tab. 10 jsou shrnutý údaje součástek výhybek pro reproduktorskou soustavu o impedanci 4 a 8  $\Omega$ .

#### Návrh tlumivk pro soustavu o impedanci 8 $\Omega$

##### Výhybka pro hlubokotónový reproduktor

Dělicí kmitočet je  $f_{d1} = 621 \text{ Hz}$ , kondenzátor  $C_1 = 16 \mu\text{F}$ , MP, TC 653/160 V, tlumivka  $L_1 = 4,1 \text{ mH}$ . Použito jádro z transformátorových plechů typu EI 16, tloušťka svazku 16 mm. Vinutí je z lakovaného drátu Cu o  $\varnothing 0,8$  až  $0,82 \text{ mm}$ , počet závitů  $N = 133$ . Odpor vinutí  $R_1 = 0,41$  až  $0,43 \Omega$ . Celková vzduchová mezera jádra  $\delta = 1,6 \text{ mm}$  (vložka tloušťky 0,8 mm mezi čelem části E a příložkou I).

##### Výhybka pro středotónový reproduktor

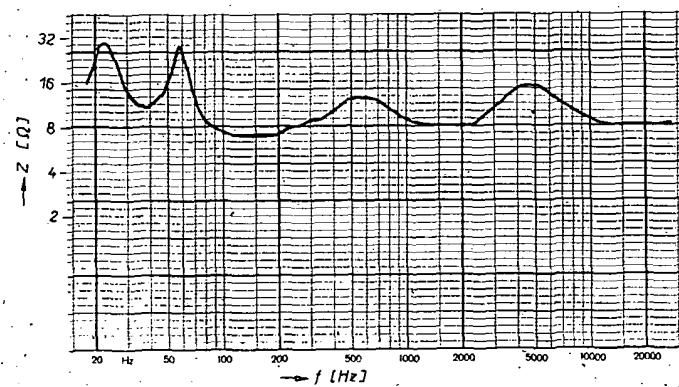
Dělicí kmitočty jsou  $f_{d2} = 621 \text{ Hz}$ ,  $f_{d3} = 3310 \text{ Hz}$ .

Tlumivka  $L_2 = 0,77 \text{ mH}$  je navinuta na feritovém hrnčkovém jádru o rozměrech  $\varnothing 36 \times 22 \text{ mm}$  a konstanta  $A_L = 160$ . Počet závitů  $N = 69$ , průměr vodiče 0,8 mm CuL, odpor vinutí  $R = 0,17 \Omega$ . Pokud nemáme k dispozici uvedené feritové jádro, pak lze zvolit feritové jádro o rozměrech  $\varnothing 26 \times 16 \text{ mm}$ , konstanta  $A_L = 160$ , počet závitů  $N = 69$ , průměr vodiče  $d = 0,4 \text{ mm}$  a odpor vinutí  $R = 0,48 \Omega$ .

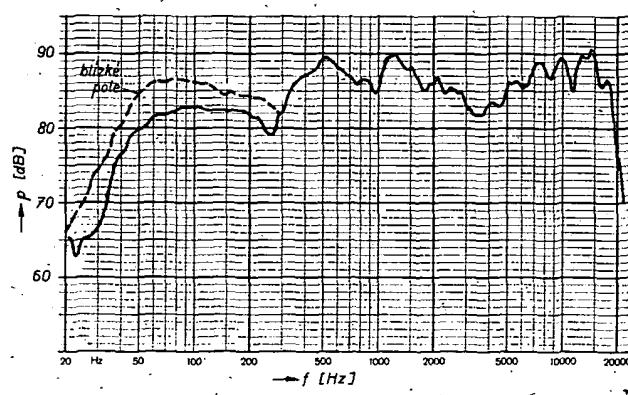
Tlumivka  $L_3 = 4,1 \text{ mH}$  může být navinuta na feritovém jádru jako  $L_1$  nebo ještě lépe na feritovém jádru o  $\varnothing 36 \times 22 \text{ mm}$  o konstantě  $A_L = 400$ . Počet závitů

Tab. 10. Údaje součástek výhybky z obr. 105

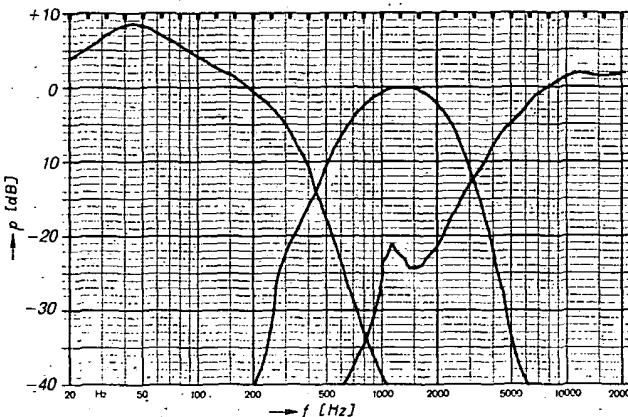
Osazení	Impedance [ $\Omega$ ]	$L_1$ [mH]	$L_2$ [mH]	$L_3$ [mH]	$L_4$ [mH]	$C_1$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_2$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_3$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_4$ [ $\mu\text{F}$ ]	$C_5$ [ $\mu\text{F}$ ]	$R_1$ [ $\Omega$ ]
RP <sub>1</sub> -ARN 5604	4	2,05	0,38	2,05	0,38	32	32	6	6	10	4,7
RP <sub>2</sub> -ARZ 4604											
RP <sub>3</sub> -ARV 3604											
RP <sub>1</sub> -ARN 5608	8	4,1	0,77	4,1	0,77	16	16	3	3	5	10
RP <sub>2</sub> -ARZ 4608											
RP <sub>3</sub> -ARV 3608											



Obr. 106. Kmitočtový průběh vstupního impedančního součástku třípásmové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$



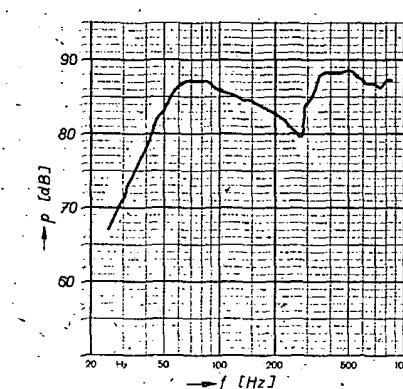
Obr. 107. Kmitočtová charakteristika třípásmové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$



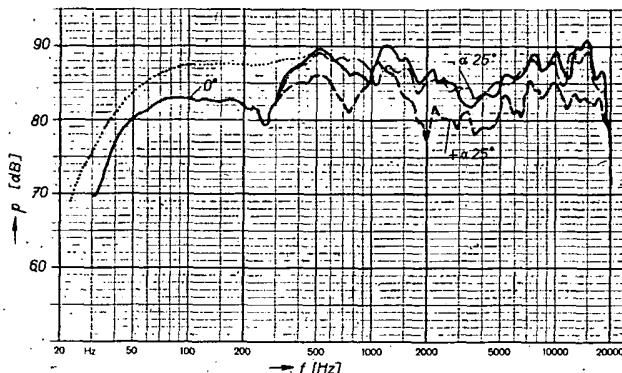
$N = 101$ , drát CuL o průměru  $d = 0,6 \text{ mm}$ . Odpor vinutí  $R = 0,36 \Omega$ . Kondenzátory  $C_2 = 16 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 3 \mu\text{F}$  a  $C_5 = 5 \mu\text{F}$  jsou typu TC 651 až 669.

##### Výhybka pro vysokotónový reproduktor

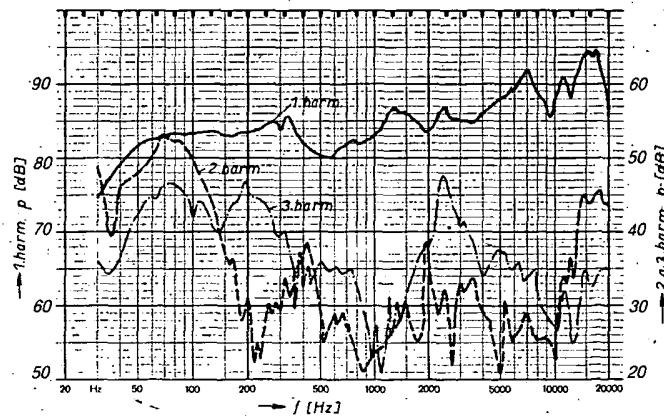
Dělicí kmitočet je  $f_{d4} = 3310 \text{ Hz}$ , kondenzátor  $C_4 = 3 \mu\text{F}$ , MP, TC 180/160 V (2  $\mu\text{F}$  + 1  $\mu\text{F}$ ), tlumivka  $L_4 = 0,77 \text{ mH}$  na feritovém hrnčkovém jádru o  $\varnothing 18 \times 11 \text{ mm}$ , konstanta  $A_L = 160$ , počet závitů  $N = 69$ , drát CuL o průměru  $d = 0,4 \text{ mm}$ . Odpor vinutí  $R = 0,32 \Omega$ .



Obr. 109. Kmitočtová charakteristika třípásmové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$ . Měřeno v blízkém poli  $l = 0,2 \text{ m}$



Obr. 110. Směrové vlastnosti třípásmové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$ . Měřeno v ose  $0^\circ$  a od osy  $\pm 25^\circ$



Obr. 111. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické třípásmové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$ . Měřeno při příkonu 1 VA

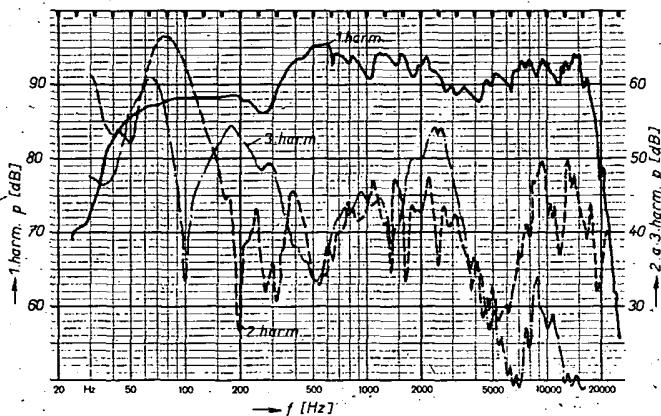
### Naměřené výsledky

Kmitočtový průběh vstupní impedance soustavy uvádíme na obr. 106. Kmitočtový průběh svorkových napětí reproduktoru v této soustavě je na obr. 108. Kmitočtová charakteristika hladiny akustického tlaku je patrná z obr. 109. Soustava byla v tomto případě měřena zblízka ve vzdálenosti  $l = 0,2 \text{ m}$ . Měřicí osa byla mezi bassreflexovým rezonátorem a hlubokotónovou jednotkou. Kmitočtová charakteristika měřená ve vzdálenosti 1 m a příkonu 1 VA je na obr. 107. Směrové vlastnosti soustavy měřené v úhlech  $\pm 25^\circ$  jsou uvedeny na obr. 110. Byly měřeny ve vzdálenosti 1 m a pří konku 1 VA. Kmitočtové charakteristiky první, druhé a třetí harmonické soustavy, měřené při příkonu 1 VA a vzdálenosti 1 m, jsou na obr. 111. Na obr. 112 je naměřený průběh první, druhé a třetí harmonické při příkonu 2 VA a ve vzdálenosti 1 m.

### Technické údaje

Jmenovitá impedance:	$4 \Omega$ (8 $\Omega$ ).
Max. standardní příkon:	20 VA.
Spíký hudební příkon:	40 VA.
Kmitočtový rozsah v tolerančním poli A podle ČSN:	40 až 18 000 Hz.
Charakteristická citlivost:	88 dB/VA/m.
Použité reproduktory:	ARN 5604, ARZ 4604, ARV 3604 (ARN 5608, ARZ 4608, ARV 3608).
Druh ozvučnice:	bassreflexová.
Výhodka:	2. řádu; 12 dB/okt.
Volný objem:	$34 \text{ dm}^3$ .
Délka kmitočtů:	621 Hz a 3310 Hz.
Rozměry (v x š x h):	580 x 350 x 240 mm.

Obr. 112. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické třípásmové soustavy o objemu  $37 \text{ dm}^3$ . Měřeno při příkonu 2 VA



- a) lze s nimi dosáhnout značných akustických tlaků s minimálním příkonem,
- b) lze využít plného dynamického rozsahu (u malých akustických tlaků tlumení okolního hluku nárušníků a u velkých akustických tlaků možnost reprodukce takové hladiny, aniž to ruší okolí),
- c) vyrovnanou kmitočtovou charakteristikou,
- d) možnost poslouchat několik programů v jedné poslechové místnosti, aniž by se posluchači navzájem rušili,
- e) lze volit svůj program nezávisle na ostatních spoluživatelsích místnostech.

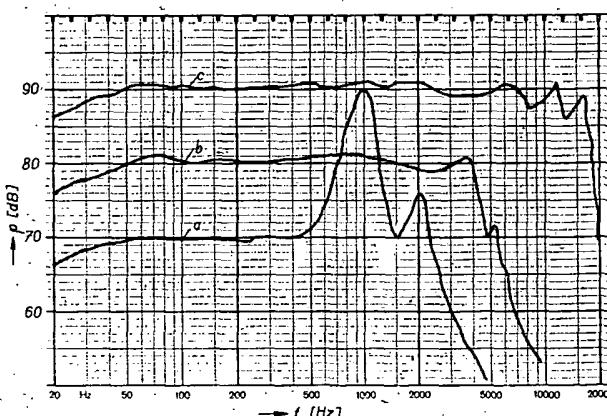
Nevýhody naproti tomu jsou:

- a) určité nepohodlí, které působí nasazení sluchátek,
- b) omezení osobní volnosti přivodním kabelem signálu,
- c) otáčení zvukového obrazu s pohybem hlavy.

Z hlediska kmitočtové charakteristiky můžeme sluchátko rozdělit do tří hlavních skupin (obr. 114):

- a) sluchátko staršího provedení,
- b) sluchátko pro sdělovací účely,
- c) sluchátko určená pro kvalitní produkci.

Z hlediska kmitočtových průběhů na obr. 114 je na první pohled patrné, že sluchátko skupiny a) jsou vhodná pouze k přenosu řečového signálu, nikoli k přenosu hudebních snímků. Používají se v telefonii, v níž svým kmitočtovým průběhem plní i funkci akustického filtru, odzávajícího (za účelem zlepšení srozumitelnosti) nežádoucí kmitočtové oblasti. Sluchátko skupiny b) vyhovuje požadavku pro přenos řečového signálu, pro přenos hudebních signálů mají velký útlum signálů vysokých kmitočtů. Sluchátko poslední skupiny splňuje svým kmitočtovým

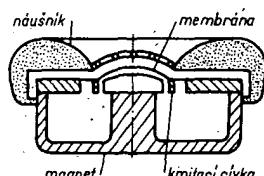


Obr. 114. Kmitočtové charakteristiky a) sluchátko staršího provedení, b) sluchátko pro sdělovací účely, c) sluchátko pro kvalitní produkci

rozsahem požadavky na reprodukční zařízení schopné přenášet v potřebné kvalitě hudební signály. Svými vlastnostmi odpovídají kvalitním reproduktovým soustavám.

Sluchátka mohou pracovat s elektroakustickým měničem na elektromagnetickém, elektrodynamickém, piezoelektrickém nebo elektrostatickém principu. Zatímco vývoj reproduktorů se ustálil v převážné většině na elektrodynamickém principu, u sluchátek pro telefonii se zatím používá měnič elektromagnetický, u jakostních sluchátek bývá měnič elektrodynamický, orthodynamický, piezoelektrický a elektroakustický.

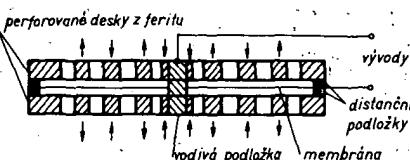
U elektrodynamického měniče určeného pro sluchátko (obr. 115) byly ve značné míře použity zkušenosti z konstrukce elektrodynamického mikrofonu. Hlavní



Obr. 115. Elektrodynamické sluchátko

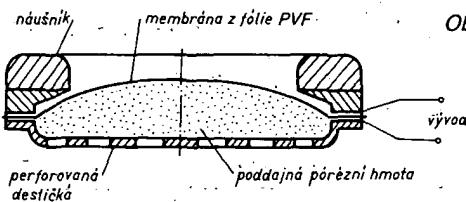
součástí měniče je trvalý magnet a membrána s kmitací cívka. Membrána v části, kde je přilepena kmitací cívka, má tvář k ulového vrchlíku. Zbylá část membrány (od vrchlíku k okraji) má prolisované vlnky nebo zeslabený materiál, aby se zvětšila její poddajnost. Při průchodu signálového proudu kmitací cívka, která je zá�těna ve vzduchové mezere, magnetu, vznikne síla, která v axiálním směru pohybuje membránou. Soustava je doplněna řadou dutin, které ovlivňují kmitočtový průběh sluchátko. Kmitočtová charakteristika je u sluchátek s elektrodynamickým měničem velmi dobrá a v mnoha případech se pohybuje od 20 Hz do 20 kHz v pásmu  $\pm 5$  dB. Někteří výrobci dávají do sluchátek místo speciálně vyvinutých elektrodynamických měničů též miniaturní dynamické reproduktory nebo mikrofonní vložky.

Velmi kvalitní sluchátka využívají orthodynamický měnič, jehož uspořádání je patrné z obr. 116. Měnič pracuje v podstatě na stejném principu jako dynamický



Obr. 116. Orthodynamické sluchátko

systém. Nové je spojení kmitací cívky s membránou: Kmitací cívka je oboustranně našívána na asi 10 až 12  $\mu\text{m}$  tlustou polyesterovou fólii (tvořící membránu měniče), která kmitá mezi dvěma perforovanými deskami z feritového materiálu. Cívka má tvar Archimedovy spirály a skládá se z několika sekcí, z nichž sousední mají vždy opačný smysl. Feritové desky jsou magnetovány ve směru osy symetrie tak, že polaria sousedních částí je opačná. Desky jsou umístěny ve vzdálosti asi 0,4 až 0,8 mm od sebe a orientovány tak, aby směr magnetizace byl na vzájem opačný. Protéká-li vinutím cívky

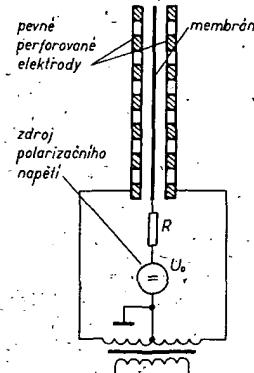


Obr. 117. Piezoelektrické sluchátko

signálový proud, působí na vodiče síla rovnoměrně rozložená po celé ploše membrány. Kmitočtová charakteristika sluchátek s orthodynamickým měničem je velmi vynovená a pohybuje se v pásmu  $\pm 2$  dB od 20 Hz do 20 kHz. Jako nevýhodu této sluchátko lze označit poměrně malou citlivost, což při výkonech dnešních stereofonních zesilovačů nemusí činit obtíže.

Mezi další používané elektroakustické rádime měnič pracující na piezoelektrickém principu. Konstrukční uspořádání piezoelektrického měniče je na obr. 117. Fólie z mechanicky a elektricky orientovaného polyvinylidenfluoridu (PVF) o tloušťce 10 až 15  $\mu\text{m}$ , opatřená na obou stranách vodivou vrstvou, je napjata přes podložku z poddajného pórézního materiálu, která je uložena na tuhé perforované desce. Signálové střídavé napětí, přiváděné na vývody spojené s vodivými vrstvami na povrchu fólie, způsobuje mechanické napětí na fólii, která se zkracuje a prodlužuje v rytmu přiváděného signálu. Fólie z PVF funguje zároveň jako membrána, která využívá akustický signál. Sluchátko s piezoelektrickým měničem má sice vynovený kmitočtový průběh u nízkých a středních kmitočtů, ale signály kmitočtů kolem 8 až 10 kHz se přenáší již s úbytkem 10 až 15 dB/okt.

V omezené míře se ve sluchátkách uplatňuje i elektrostatický měnič (obr. 118). S ohledem na potřebu dostatečné



Obr. 118. Elektrostatické sluchátko

amplitudy v oblasti nízkých kmitočtů je nutné použít symetrický elektroakustický měnič s konstantním nábojem na membráně. Membrána je umístěna mezi dvěma vodivými, dostatečně tuhými perforovanými elektrodami. Elektrostatická sluchátko musí být vybavena zdrojem polarizačního napětí a transformátorem, převádějícím výstupní napětí zesilovače na napětí 20 až 150 V. U tohoto typu sluchátek lze dosáhnout velmi vynoveného kmitočtového průběhu.

Výsledná funkce sluchátek je značně závislá na „impedanci“ lidského ucha, která je u jednotlivců rozdílná. Tím se do jisté míry komplikuje i měření sluchátek. Z tohoto důvodu bylo pro sluchátko vyvinuto měřicí zařízení, tzv. umělé ucho, které má akustickou impedanci přibližující se průměrnému lidskému uchu. Pro nejednotnost norem vzniká mnoho nesprávných údajů. To vedlo Mezinárodní

elektrotechnickou komisi (IEC) k návrhu umělého ucha, které sice nenapodobuje plně lidské ucho, ale pro svoji technickou jednoduchost je přístupné většině výrobů a výzkumným pracovištěm. Toto umělé ucho podle doporučení IEC vyrábí například pod označením B & K 4153 dánka firma BRUEL & KJAER. Měření sluchátek pomocí umělého ucha zahrnujeme mezi objektivní měřicí metody, při měření je náušník sluchátko přiložen na ústí otvoru umělého ucha. Měří se akustický tlak na membráně měřicího mikrofonu o průměru 1/2", vestavěných v umělém uchu. Na vstup sluchátko přivádíme z generátoru sinusový signál odpovídající jmenovitému napětí sluchátku. Měřením zjistíme jednak kmitočtový průběh sluchátek, jednak můžeme v pásmu 100 až 5000 Hz stanovit charakteristickou citlivost.

Pro měření sluchátek se používá (hlavně v zahraničí) též subjektivní měřicí metoda. Měří se v bezdovzkovém komoře při hladinách akustického tlaku 70 až 80 dB v místě posluchače. Posluchač, který je subjektem měření, je umístěn v akustickém poli čelem k reproduktoru souběžně se vzdáleností minimálně 1,5 až 2 m. Jako měřicí signál používáme bud sinusový signál anebo signál odpovídající 1/3 oktavé bílého šumu. Při měření postupujeme tak, že měřicí osoba si nejprve poslechne referenční signál, který využívá reproduktoru soustavu. Po jeho vypnutí a po nasazení sluchátek nastaví ovládáním prvkem na jejich vstupních svorkách takové napětí, aby subjektivní vjem hlasitosti byl stejný. Velikost tohoto napětí se přečte na měřicím přístroji. Do rastra zakreslíme reciproký průběh takto stanovených napětí, vyjádřený v dB. Vzhledem k velkým individuálním rozdílům dílčích měření je nutné mít k měření k dispozici soubor alespoň 10 posluchačů a z výsledků měření stanovit průměrné hodnoty.

Pro lepší přehlednost a větší informovanost o stereofonních sluchátkách uvedeme u několika typů, tuzemských i zahraničních, základní elektroakustická měření a hodnocení technických parametrů.

## 7.2. Tuzemská stereofonní sluchátka

### Stereofonní sluchátka ARF 300 TESLA

Sluchátka ARF 300, jejichž výrobcem je k. p. TESLA Valašské Meziříčí, jsou sluchátka s náušníkem o velkém objemu s cívkovým elektrodynamickým měničem.

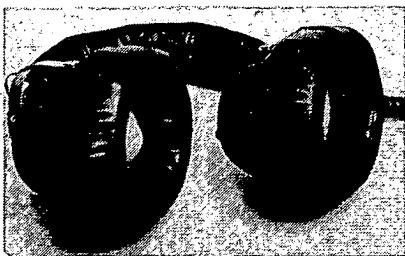
Jsou určena pro velmi kvalitní stereofonní reprodukci jako doplněk k magnetofonům, rozhlasovým přijímačům apod. Celkový vzhled a provedení sluchátek je patrný z obr. 119.

#### Výrobcem udávané parametry

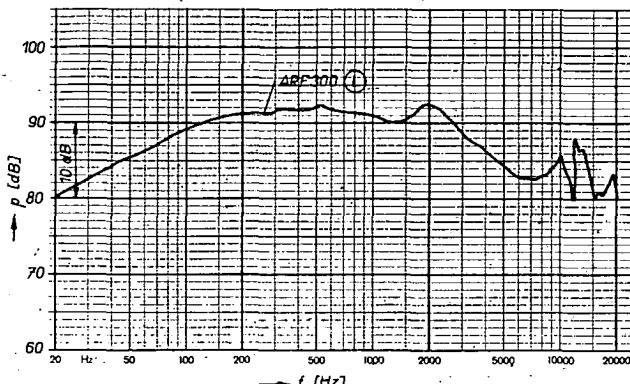
Jmenovitá impedance:	2 x 200 $\Omega$
Charakteristická citlivost:	95 dB/1 mW/1 sluchátko
Kmitočtový rozsah:	20 Hz až 20 kHz
Max. příkon:	10 mW/1 sluchátko
Mezní akustický tlak:	125 dB

#### Naměřené výsledky

Kmitočtová charakteristika levého sluchátko je uvedena na obr. 120.



Obr. 119. Stereofonní sluchátka typ ARF 300 - TESLA



Obr. 120. Kmitočtová charakteristika levého sluchátka ARF 300

#### Stereofonní sluchátka ARF 220 - TESLA

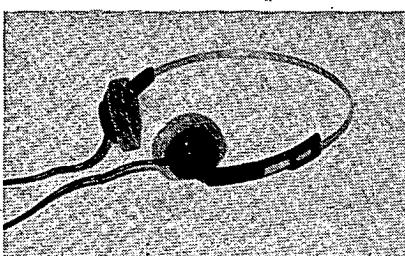
Sluchátka ARF 220 z k. p. TESLA Valašské Meziříčí jsou lehká stereofonní sluchátka s otevřeným prodyšným, náušníkem a cívkovým elektrodynamickým měničem. Jsou určeny zejména k přenosnému kažetovému přehrávači KM 340, ale vzhledem ke svým velmi dobrým parametry mohou být použity jako doplněk domácího elektroakustického řetězce. Konstrukčním řešením odpovídají dnes všeobecně ustálené koncepce lehkého otevřeného typu sluchátek. Jejich vzhled a provedení je názorně vidět z obr. 121.

#### Naměřené výsledky

Vstupní impedance sluchátek je  $30 \Omega$ . Kmitočtové charakteristiky první, druhé a třetí harmonické jsou interpretovány na obr. 122 a 123 pro levé a pravé sluchátko. Z naměřených průběhů dílčích harmonických můžeme stanovit činitel harmonického zkreslení. Výsledky uvádíme přehledně v tabulce 11. Sluchátka byla měřena při příkonu  $P = 1 \text{ mW}$ .

Tab. 11. Činitel harmonického zkreslení sluchátek ARF 220

Kmitočtové pásmo	$L$ $k$ [%]	$P$ $k$ [%]
45 až 125 Hz	0,94	2,38
125 až 250 Hz	2,36	5,00
250 až 5000 Hz	0,85	2,84



Obr. 121. Stereofonní sluchátka typ ARF 220 - TESLA

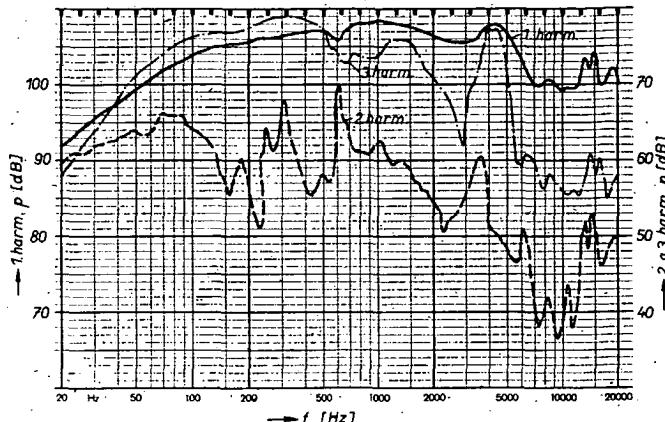
#### 7.3 Zahraniční stereofonní sluchátka

##### Stereofonní sluchátka MG-10

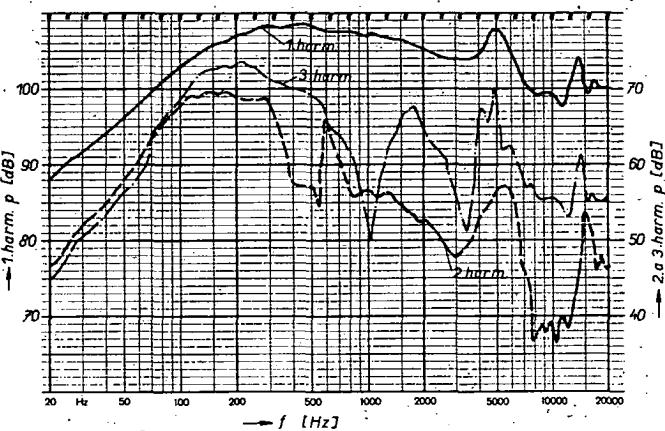
Sluchátka MG-10 jsou lehká stereofonní otevřená sluchátka s cívkovým elektrodynamickým měničem. Jejich výrobcem je japonská firma SANYO. Konstrukčním řešením odpovídají světovému standardu lehkých otevřených sluchátek. Vzhled, konstrukční uspořádání a technické parametry můžeme srovnat s tuzemským typem ARF 220. Sluchátka MG-10 jsou určena především pro přenosné kazetové stereofonní přehrávače.

#### Naměřené výsledky

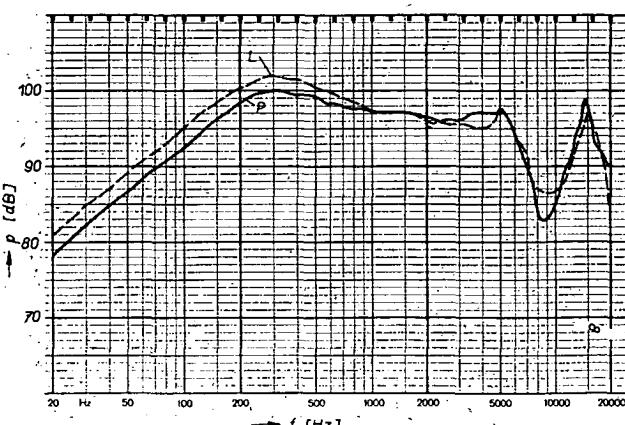
Vstupní impedance sluchátek je  $32 \Omega$ . Kmitočtové charakteristiky obou systémů sluchátek MG-10 jsou na obr. 124. Kmitočtové charakteristiky 1., 2. a 3. harmonické pro levý systém sluchátko jsou na obr. 125, byly měřeny při příkonu  $P = 1 \text{ mW}$ . Z uvedených charakteristik 1., 2. a 3. harmonické můžeme stanovit činitel harmonického zkreslení v procentech. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 12. Charakteristická citlivost levého sluchátko je 98 dB a pravého 97,7 dB. Hmotnost sluchátek je 30 g bez konektoru a přívodního kabelu. Celková hmotnost činí 40 g.



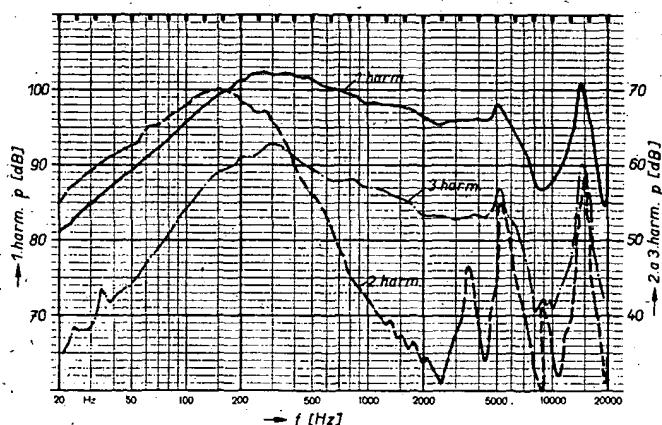
Obr. 122. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ ARF 220 - TESLA, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 182 \text{ mV}$ )



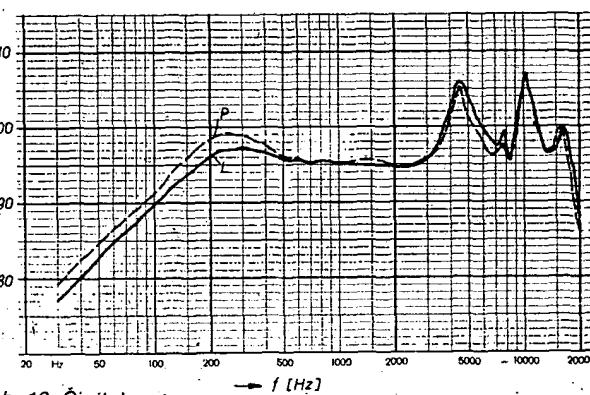
Obr. 123. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ ARF 220 - TESLA, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen pravý systém při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 182 \text{ mV}$ )



Obr. 124. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MG-10 SANYO. Měřeny oba systémy při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 173 \text{ mV}$ )



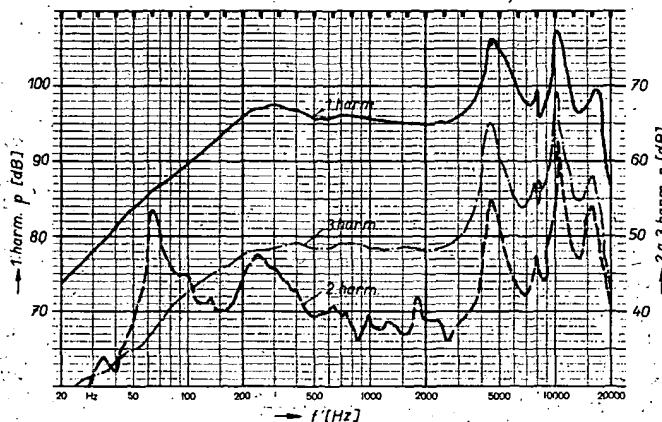
Obr. 125. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MG-10 SANYO, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 173 \text{ mV}$ ).



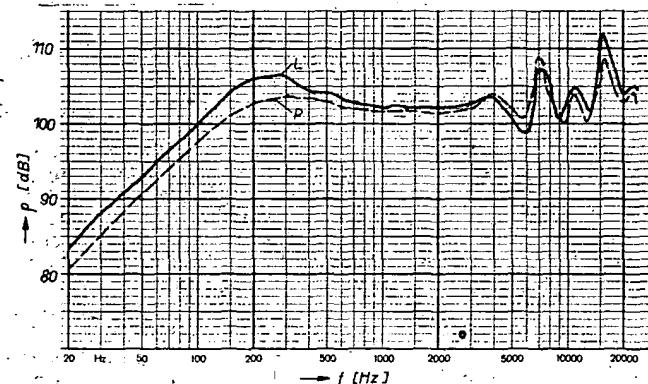
Tab. 12. Činitel harmonického zkreslení sluchátek MG-10

Kmitočtové pásmo	$L$ $k$ [%]
45 až 125 Hz	2,58
125 až 250 Hz	3,25
250 až 5000 Hz	1,03

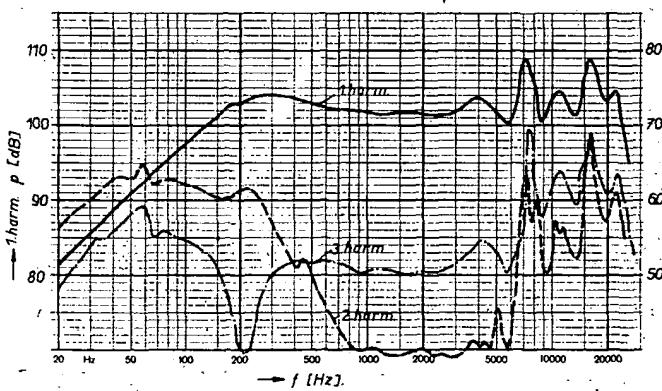
Obr. 126. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-03 SONY. Měřeny oba systémy při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 179 \text{ mV}$ ).



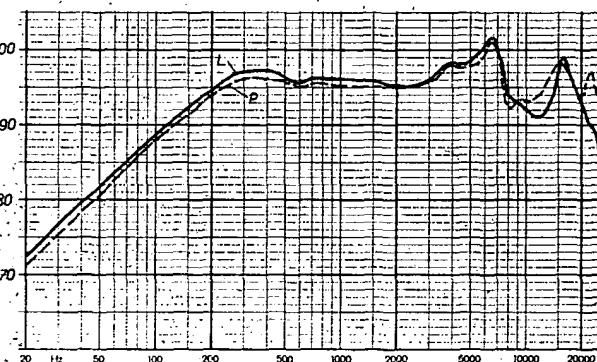
Obr. 127. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-03 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 179 \text{ mV}$ ).



Obr. 128. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-15 SONY. Měřeny oba systémy při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 152 \text{ mV}$ ).



Obr. 129. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ MDR-15 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 152 \text{ mV}$ ).



Obr. 130. Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ 3L2 SONY. Měřeny oba systémy při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 184 \text{ mV}$ ).

### Stereofonní sluchátka MDR-03

Sluchátka MDR-03 jsou lehká stereofonní otevřená sluchátka s cívkovým elektrodyynamickým měničem. Vyrábí je japonská firma SONY. Provedením odpovídají ustálené koncepcii a vzhledem jsou srovnatelné s tuzemským typem ARF 220. Jsou opět určeny pro připojení ke stereofonnímu kazetovému přehrávači.

#### Naměřené výsledky

Vstupní impedance byla naměřena

32.  $\Omega$ . Kmitočtové charakteristiky obou systémů (L a P) jsou na obr. 126. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické, nesoucí informaci o zkreslení sluchátek, jsou pro levé sluchátko uvedeny na obr. 127, byly změřeny při příkonu  $P = 1 \text{ mW}$ .

### Stereofonní sluchátka MDR-15

Sluchátka MDR-15 jsou lehká stereofonní otevřená sluchátka s elektrodyynamickým měničem. Výrobcem této sluchátky je japonská firma SONY. Konstrukčně jsou obdobou předchozího typu MDR-03, ale v lepším provedení. Jsou opět určeny k replrodukcii zvuku ze stereofonního kazetového přehrávače. Vzhle-

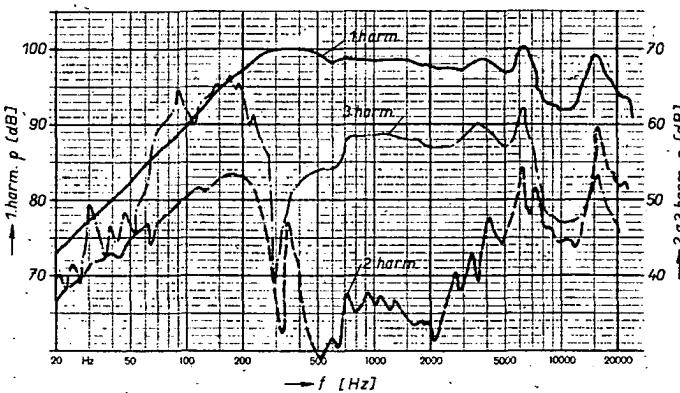
dem k velmi dobrým elektroakustickým vlastnostem je lze použít i ke stolnímu kazetovému či cívkovému magnetofonu nebo rozhlasovému přijímači.

#### Naměřené výsledky

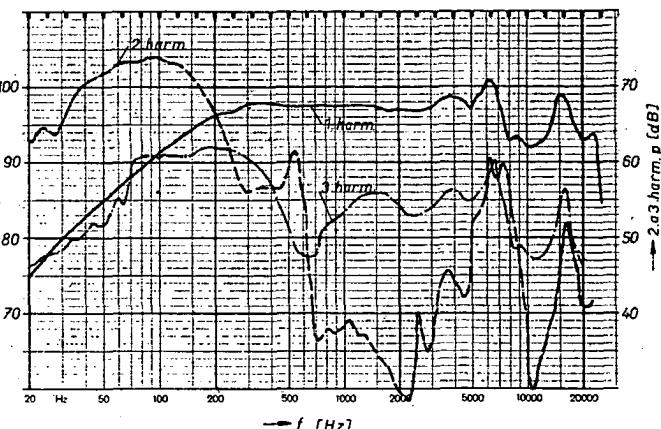
Kmitočtové charakteristiky levého i pravého sluchátku jsou na obr. 128. Kmitočtové průběhy první, druhé a třetí harmonické, nesoucí informaci o zkreslení sluchátek, jsou pro levé sluchátko na obr. 129, byly změřeny při příkonu 1 mW.

### Stereofonní sluchátka 3L2

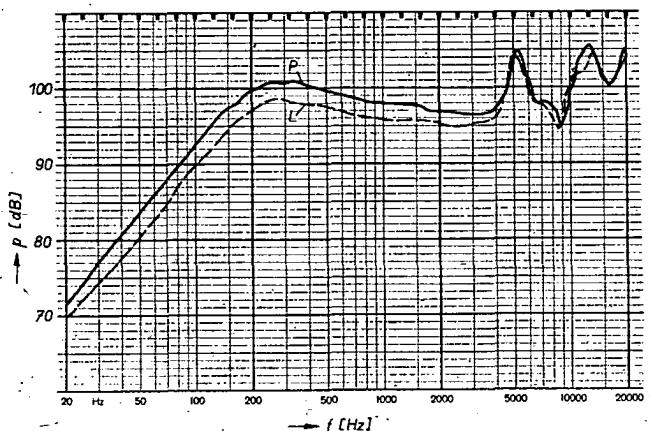
Sluchátka 3L2 jsou dalším typem lehkých otevřených sluchátek japonské fir-



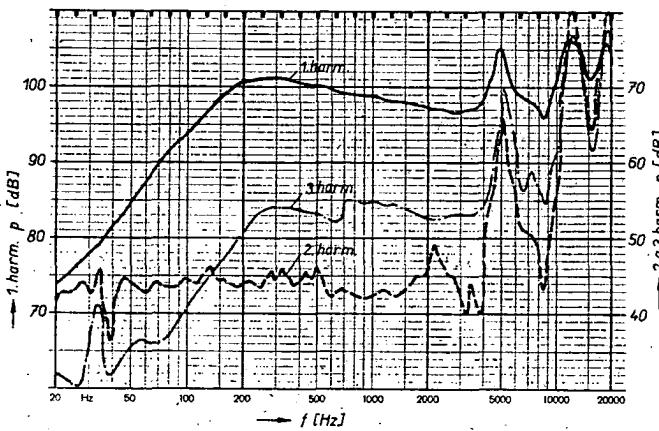
Obr. 131: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ 3L2 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen levý systém při príkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 184 \text{ mV}$ )



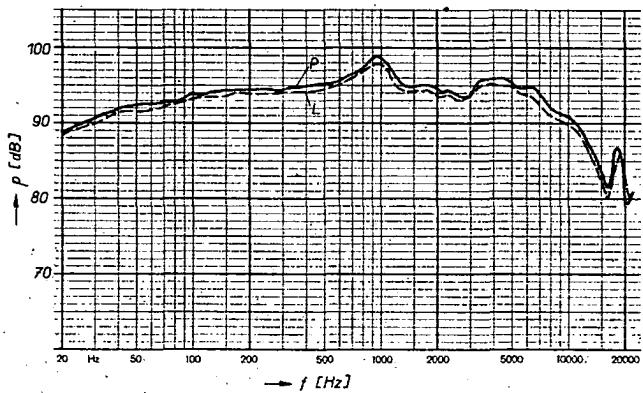
Obr. 132: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ 3L2 SONY, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen pravý systém při príkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 184 \text{ mV}$ )



Obr. 133: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ AS-20 ASAHI. Měřeny oba systémy při príkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 173 \text{ mV}$ )



Obr. 134: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ AS-20 ASAHI, 1. 2. a 3. harmonických složek. Měřen pravý systém při príkonu  $P = 1 \text{ mVA}$  ( $U = 173 \text{ mV}$ )



Obr. 135: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ SE-700 PIONEER. Měřeny oba systémy při  $U = 1,13 \text{ V}$

my SONY. Systémy sluchátek pracují na elektrodynamickém principu. Konstrukční řešení i vzhled jsou podobné předchozímu typu. Sluchátka jsou opět určena k reprodukci zvuku pro stereofonní kasetové přehrávače.

#### Naměřené výsledky

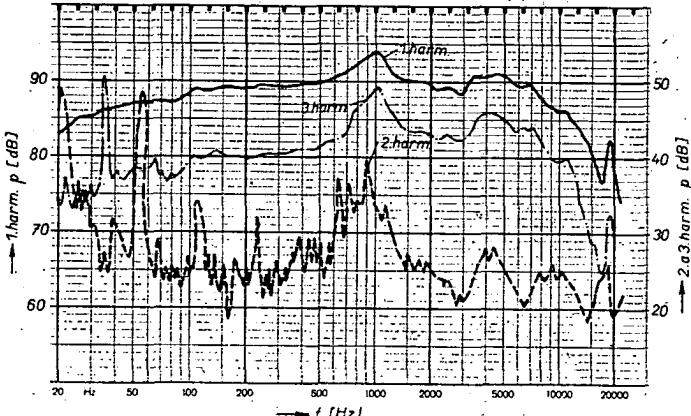
Vstupní impedance byla u obou sluchátek naměřena  $34 \Omega$ . Kmitočtové charakteristiky levého a pravého sluchátku jsou na obr. 130. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické levého sluchátku, dávající informaci o jeho zkreslení, jsou na obr. 131. Průběhy harmonických pravého sluchátku jsou na obr. 132; všechny údaje byly získány při príkonu  $P = 1 \text{ mVA}$ . Hmotnost sluchátek bez konektoru a pří-

vodního kabelu je 40 g, s příslušenstvím 63 g.

#### Stereofonní sluchátka AS-20

Sluchátka AS-20 jsou stejně jako předchozí typy lehkými otevřenými sluchátky s čívkovým elektrodynamickým měničem. Náušníky jsou vyrobeny z prodyšného materiálu. Sluchátka AS-20 jsou zařazena ve výrobním programu japonské firmy ASAHI. Vzhled i konstrukční řešení odpovídají ustálené koncepcii tohoto druhu sluchátek. Výrobce uvádí následující parametry:

Impedance:  $30 \Omega$ ,  
Citlivost:  $92 \text{ dB/mW}$ .



Obr. 136: Kmitočtové charakteristiky sluchátek typ SE-700 PIONEER, 1. 2. a 3. harmonická složka. Měřen levý systém při príkonu  $U = 1,13 \text{ V}$

Kmitočtový rozsah: 20 Hz až 20 kHz,  
Max. príkon: 100 mW.

#### Naměřené výsledky

Vstupní impedance obou sluchátek byla naměřena  $30 \Omega$ . Kmitočtové charakteristiky levého a pravého sluchátku jsou na obr. 133. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické, nesoucí informaci o zkreslení, jsou na obr. 134, z naměřených průběhů je patrné, že jde o sluchátka s velmi malým zkreslením.

## Stereofonní sluchátka SE700

Sluchátka SE700 jsou velká sluchátka s uzavřeným náušníkem využívající piezoelektrický měnič. Výrobcem téhoto sluchátko je japonská firma PIONEER. Průměr sluchátko je 94 mm, hmotnost bez konektoru a přívodního kabelu je 292 g, s konektorem a kabelem 340 g.

### Naměřené výsledky

Kmitočtové charakteristiky sluchátek SE700 jsou pro oba systémy na obr. 135. Kmitočtové průběhy 1. 2. a 3. harmonické levého sluchátko jsou na obr. 136, byly měřeny při vstupním napětí  $U = 1,13 \text{ V}$ , což odpovídá hladině akustického tlaku 90 dB. Z naměřených průběhů vidíme názorně, že při použití piezoelektrického měniče nastává úbytek signálů vysokých kmitočtů, tak jak na to bylo upozorněno v článku 7.1 v popisu principu výše uvedeného měniče.

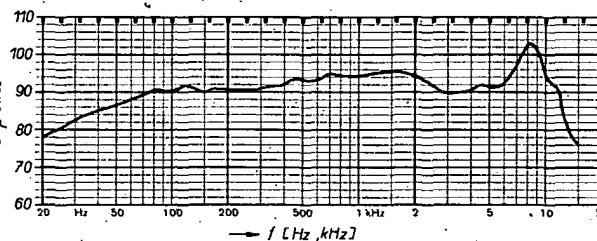
## Stereofonní sluchátka HOK-80

Sluchátka HOK-80 jsou stereofonní sluchátka střední velikosti s uzavřeným náušníkem. Je u nich použit orthodynamický elektroakustický měnič. Výrobcem sluchátek je východoněmecký podnik VEB KERAMISCHE WERKE HERMSDORF. Výrobce uvádí tyto parametry:  
**Kmitočtový rozsah:** 20 Hz až 20 kHz,  
**Jmenovitá impedance:** 60  $\Omega$ ,  
**Příkon:** 5 mW/94 dB,  
**Max. příkon:** 2 W,  
**Zkreslení:** 0,5 %,  
**Přítlačná síla:** 4 N,  
**Hmotnost včetně kabelu a konektoru:** 0,3 kg.

### Naměřené výsledky

Kmitočtová charakteristika levého systému stereofonního sluchátko HOK-80 je na obr. 137.

Obr. 137. Kmitočtová charakteristika sluchátek typ HOK-80 – NDR. Měření levý systém při příkonu  $P = 1 \text{ mVA}$



## 8. Akustická měření

V této kapitole uvedeme princip a způsob měření reproduktoru a reproduktoru v soustavě. Tato měření jsou podrobne popsána v čs. normách; ale pro přehlednost seznámíme čtenáře s nejpodstatnějšími základními principy a zjednodušenými popisy měření.

Akustická měření a hodnocení reproduktoru v soustavě můžeme rozdělit na dva základní druhy měření:

- objektivní,
- subjektivní.

Objektivně se reproduktoru v soustavě měří ve speciálních měřicích prostorách, tzv. akustických nebo bezodrazových komorách. Můžeme též měřit ve volném prostoru nebo v poloprostoru.

Subjektivně se reproduktoru v soustavě měří a hodnotí nejčastěji v uzavřeném prostoru, v tzv. poslechové místnosti.

### 8.1 Základní objektivní měření

#### Elektrická impedance

Průběh elektrické impedance soustavy se měří na jejich vstupních svorkách konstantním proudem, odpovídajícím 1/10 maximálního (jmenovitého) standardního příkonu, plynule v celém kmitočtovém pásmu, pro které je soustava určena. Jmenovitá impedance reproduktoru v soustavě bývá většinou 4 nebo 8  $\Omega$  a stanovíme ji, jako nejmenší hodnotu modulu elektrické impedance. Její reálnou složku lze měřit na vhodném můstku.

#### Kmitočtová charakteristika

Kmitočtové charakteristiky se měří např. v bezodrazové komoře. Při měření je třeba zvolit úroveň měřicího signálu tak, aby nevznikalo nadměrné nelineární zkreslení. Základní úroveň se uvažuje při příkonu soustavy 1 VA a vzdálenosti měřicího mikrofonu 1 m od zářiče.

Kmitočtové charakteristiky se měří u reproduktoru a reproduktoru v soustavě sinusovým tónem nebo šumovým signálem.

Při úplném hodnocení kmitočtové charakteristiky soustavy se dělá i tzv. měření doplňkové, kdy kmitočtovou charakteristiku měříme pod různými úhly ke vztážné ose. Doporučuje se, aby tyto úhly byly odstupňovány takto: 15°, 20°, 25°, 30°, 45°, 60° a 90°.

Referenční bod pro soustavy určuje především výrobce. Většinou je stanoven ve výzařovací ose před vysokotónovým reproduktorem.

Průběhy kmitočtové charakteristiky se plynule zaznamenávají na zařízení – zapisovači úrovně (např. typ 2305 nebo 2307 firmy B & K). Průběhy se zaznamenávají na speciální semilogaritmický papír šířky 50 nebo 100 mm. Kmitočtová charakteristika soustav je jedním ze základních para-

metrů, který dává obraz o jejich vlastnostech.

#### Směrové charakteristiky

Měří se buď ve volném prostoru nebo v akustické komoře a použije se napájení stejným signálem, jako při měření kmitočtové charakteristiky. Soustavy se měří v horizontální i vertikální rovině. Vzdálenost měřicího mikrofonu od referenčního bodu soustavy se volí stejná jako při měření kmitočtové charakteristiky.

Měří směrové charakteristiky se doporučuje při kmitočtech 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 12 500 Hz a 16 000 Hz.

Při měření se plynule otáčí reproduktoru v soustavě ve stejné vzdálenosti od referenčního bodu a v rovině proložené akustickou osou reproduktoru v soustavě. Měřenou hladinu signálu registrujeme pomocí zapisovače úrovně, umožňující záznam v polárních souřadnicích (např. typ 2305 nebo 2307) dánské firmy Brüel & Kjaer).

#### Stanovení charakteristické citlivosti

Charakteristická citlivost je důležitý parametr soustavy pro její zapojení do repreprodukčního řetězce. Citlivost se stanoví v rozsahu 250 Hz až 4000 Hz z kmitočtové charakteristiky soustavy. Z průběhu se určí průměrná hodnota v uvedeném pásmu. O charakteristické citlivosti jsme se již zmínili v úvodní kapitole, kterou je nezbytné znát pro návrh vícepásmových soustav.

#### Měření zkreslení

Činitel charakteristického harmonického zkreslení se měří obdobně jako kmitočtové charakteristiky při 1/10 max. příkonu soustavy. Dále se měří i při polovičním, dokonce i při maximálním příkonu. Při větších příkonech měříme pomocí výkonového zesilovače a filtru, který je blíže specifikován v ČSN 36 8265, čl. 84. Filtr má kmitočtovou závislost odpovídající průměrnému spektrálnímu rozložení energie přirozených akustických signálů. Harmonické zkreslení se měří v akustické ose soustavy a dále také v úhlech 15 a 30° od osy. Zkreslení je možné měřit např. analyzátem typ 2010 a řídíci jednotkou k měření zkreslení typ 1902 firmy Brüel & Kjaer, umožňující plynulý záznam základní složky a dále pak druhé až páté harmonické tlaku základní harmonické a dalších harmonických složek se registrují pomocí zapisováče úrovně, např. typu 2307 B & K.

Výsledky měření se zpracují tak, že se nejprve určí tzv. vztážná velikost akustického tlaku první základní harmonické v pásmu 250 až 4000 Hz. Tímto způsobem se zjistí střední hodnoty akustického tlaku pro každou jednotlivou harmonickou a to v pásmech kmitočtů:

- 45 až 125 Hz,
- 125 až 250 Hz,
- 250 až 5000 Hz.

Pro tato pásmá kmitočtů se stanoví střední činitel harmonického zkreslení, podle vztahu

$$k_s = \frac{\sqrt{p_{2s}^2 + p_{3s}^2 + p_{4s}^2 + p_{5s}^2}}{p_{1s}}$$

kde  $p_{1s}$  až  $p_{5s}$  je akustický tlak harmonických složek.

#### Akustický výkon

Akustický výkon soustavy při určitém standardním příkonu se obecně pro určitý kmitočet nebo kmitočtové pásmo (je-li soustava napájena šumovým signálem) na základě zjištěného  $p_s^2$  stanoví podle vztahu

$$P_{ak} = \frac{2\pi l^2}{c_0 \rho} p_s^2 [W; m; N/m^2],$$

kde  $P_{ak}$  je akustický výkon,  
 $p_s$  průměrná velikost akustického tlaku v pásmu vymezeném kmitočty  $f_{min}$  a  $f_{max}$ ,  
 $c_0$  rychlosť zvuku ve vzduchu,  
 $\rho$  hustota vzduchu = 1,2 kg/m<sup>3</sup>,  
 $l$  vzdálenost mikrofonu od referenčního bodu.  
Doporučuje se měřit při 1/10 maximálního standardního příkonu.

#### Přetížitelnost

Aby reproduktory v soustavě nebyly přetíženy nebo zničeny, je nutné znát jejich přetížitelnost. Soustava musí po dobu 2 minut snést krátkodobé přetížení, rovnající se 1,5násobku maximálního (jmenovitého) standardního příkonu a po dobu 3 sekund přetížení rovnající se troj-

násobku maximálního standardního příkonu.

Zde je třeba podotknout, že mnoho reproduktoričtových soustav, zvláště zahraničních typů, má v technickém popisu udán max. standardní příkon nebo špičkový příkon, nikoli příkon jmenovitý. Mnoho majitelů takových reproduktoričtových soustav si myslí, že může napájet soustavu trvalým signálem uvedené velikosti a navíc v celém kmitočtovém pásmu při ustanoveném příkonu. Pak jsou nemile překvapeni, když se zničí především vysokotónový reproduktor.

## 8.2 Subjektivní hodnocení

### Zkouška pazvuků

Pazvuky se vyhodnocují poslechovými testy, které se dělají buď ke stanovení maximální přípustné úrovně pazvuků pro daný konkrétní případ, nebo ve sporných případech. Soustavy se testují v poslechové místnosti o objemu 50 až 100 m<sup>3</sup>, která má být akusticky upravena tak, aby její střední doba dozvuku v pásmu akustických kmitočtů byla menší než 0,5 s. Přitom je nutno dbát na to, aby v místnosti nebyly žádné předměty, u nichž by mohly vzniknout slyšitelné rušivé rezonance. Při poslechových testech jsou reproduktoričtové soustavy napájeny signálem typu „hudba-řeč“ takové úrovně, aby bylo dosaženo právě maximálního standardního příkonu soustavy. Pro test je nutno použít elektrický signál vysoké kvality. Vzorky zkušebního signálu se volí tak, aby obsahovaly ve stejném rozsahu snímky orchestrální symfonické hudby, snímky s převažující úrovní sólového nástroje nebo zpěvu, snímky běžné komerční hudby a snímky řeči. Při testech se přehrávají postupně jednotlivé snímky vždy střídavě na první a druhé soustavě. Po přehrání každého snímku zapíše posluchač označení soustavy, kterou hodnotí jako lepší, nebo označí hodnocení jako nerozložné. K hodnocení se doporučuje vybrat posluchače s dobrou poslechovou zkušeností.

### Poslechové porovnávací testy

a) Těmito testy je možné porovnávat kvalitu reprodukce dvou nebo i několika soustav, pokud se porovnává každou s každou, nebo se použije metoda známkování. Vždy je třeba při hodnocení těchto testů mít na myslí, že jejich výsledky jsou závislé na složení skupiny testujících a volbě reprodukovaného zvukového materiálu.

b) Poslechové testy se dělají zásadně ve standardním poslechovém prostoru. Testované soustavy je třeba provozovat za průzvučným, avšak neprůhledným závěsem.

Pro testy je nutno použít testovací signál vysoké kvality. Pokud není stanoven speciální použití soustav (např. pouze pro řeč), volí se vzorky zkušebního signálu tak, aby obsahovaly ve stejném rozsahu snímky orchestrální symfonické hudby, snímky s převažující úrovní sólového nástroje nebo zpěvu, snímky běžné komerční taneční hudby a snímky řeči. Při testech se přehrávají postupně jednotlivé snímky, vždy střídavě na první a druhé soustavě. Po přehrání každého snímku označí posluchači tu soustavu, kterou hodnotí jako lepší, nebo označí hodnocení jako nerozložné. K hodnocení se doporučuje vybrat posluchače s dobrou poslechovou zkušeností, nebo volit výběr posluchačů respektující určitý specifický okruh konzumentů.

Během testů se přehraje nejméně 8 vzorků signálu a reprodukci hodnotí nej-

méně pět posluchačů, je tedy k dispozici minimálně 40 posudků pro každou porovnávanou dvojici. Základní vyhodnocení se provede podle počtu jednotlivých posudků. Označíme např. výrok: reprodukce 1 je lepší než reprodukce 2 znakem „+“, opačný výrok znakem „-“ a nerozložný výrok znakem „x“. Za jednoznačný výsledek testu se považuje posudek, jehož znak je v celkovém počtu výroků obsažen z více než 60 %. Nedosáhne-li žádný z možných výroků 60 % stejných znaků z celkového počtu, pokládá se výsledek testu za nerozložný.

c) Poslechové testy lze rovněž dělat metodou známkování. Doporučuje se volit 5 známkových stupňů, a to takto:

Známka 1 ... nejvyšší jakost,

2 ... velmi dobrá jakost,

3 ... průměrná jakost bez rušivých zkreslení,

4 ... nižší jakost s ještě

únosnými rušivými

zkresleními,

5 ... nejnižší jakost.

Tento test lze dělat buď bez vytčení mezní kvalit, tj. volně, nebo s vytčením tzv. mezních kvalit, tj. s určenými mezemí. Mezní kvality lze vytknout např. tak, že se zvolený snímek reprodukuje jednou a pak druhou soustavou tak, aby reprezentoval mezní případy, tj. případy přiřazené známce 1 a známce 5. Dále se reprodukuje zvolený snímek testovanou soustavou. Test se doporučuje opakovat pro každý snímek dvakrát, přičemž se volí různé pořadí ukázek mezních kvalit, např. 1; 5; x a 5; 1; x. Výsledek testu se pak vyjádří střední známkou, získanou součtem celkového počtu zapsaných známk, který se dělí počtem soudů. Při uvádění výsledné střední známkou je vždy třeba uvést, zda se jednalo o volné známkování nebo o známkování s určenými mezemí a jakým způsobem byly meze zavedeny.

Poslechové testy je účelné používat vždy k doplnění údajů získaných objektivním měřením a dále především ve sporných případech, které nelze rozložit na základě výsledků objektivních měření. V žádném případě však nelze celkově hodnotit reproduktoričtové soustavy jen na základě poslechových testů.

## 9. Závěr

O stereofonní reprodukci signálu a o jednotlivých částech reprodukčního řetězce bylo uvedeno v odborné literatuře již mnoho, ale přesto existují ještě nové možnosti stereofonní reprodukce signálu. V současné době je na čs. trhu poměrně široký sortiment reproduktoričtových soustav běžného provedení. Kromě tradičního výrobce soustav pro bytové účely, k. p. TESLA Valašské Meziříčí, vyrábějí reproduktoričtové soustavy pro bytové účely v k. p. TESLA Litověl, k. p. TESLA Bratislavě a v podniku ÚV Svařarmu Elektronika. Domniváme se však, že tento sortiment by mohl být např. doplněn o reproduktoričtové kombinace umožňující přenos nejnižších kmitočtů akustického pásmá. Proto jsme navrhli několik alternativních řešení hlubokotónových jednotek a reproduktoričtových soustav malého objemu (satelitů).

Praktické provedení reproduktoričtových kombinací se společnou hlubokotónovou jednotkou bude jistě nejzádánejší částí tohoto čísla AR řady B. Chtěli jsme upozornit čtenáře na možnost reprodukce stereofonního signálu netradičním způsobem a předložit mu učelený soubor stavebních návodů hlubokotónových jednotek a satelitních jednotek, včetně naměřených parametrů. Nové je především

to, že jsou si učívány signály levého a pravého kanálu zesilovače na nejnižších kmitočtech do jedné hlubokotónové jednotky (subwoofer), která se dvěma reproduktoričtovými soustavami malého objemu (satelity) tvoří kvalitní reproduktoričtovou kombinaci schopnou přenášet celé pásmo slyšitelných kmitočtů.

Stereofonní reprodukce signálu reproduktoričtovou kombinací se společnou hlubokotónovou jednotkou je nový vyzkoušený způsob doplnění, nebo lépe řečeno zlepšení kmitočtového rozsahu stávajících reproduktoričtových soustav. Konceptně představuje hlubokotónová jednotka elegantní řešení několika akustických problémů současně. Jednou z předností je menší celkový objem všech tří jednotek (subwoofer + 2 satelity) než dvou klasických reproduktoričtových soustav. Druhou předností je možnost snadnějšího umístění hlubokotónové jednotky do interiéru, neboť ji lze umístit teoreticky v poslechovém prostoru kamkoliv. Může být součástí obývací stěny, nebo ji můžeme využít jako stolék pro televizní přijímač, podstavec pro květiny apod. Dvě reproduktoričtové soustavy malého objemu (satelity) lze umístit z hlediska dobrého stereofonního efektu mnohem výhodněji a hlavně nebudou zaujmout tak velký prostor jako klasické reproduktoričtové soustavy. Další z výhod hlubokotónových jednotek je rozšíření kmitočtové charakteristiky směrem k nejnižším kmitočtům a kvalitnější reprodukce signálu v této oblasti. Je sice pravda, že několik málo klasických reproduktoričtových soustav je schopné přenášet stejnou šířku pásmá jako nové reprodukční zařízení, ale kromě několika výjimek postrádají potřebnou zatížitelnost. Je možné položit otázku, zda u většiny nahrávek existují kmitočty, pro které jsou hlubokotónové jednotky určeny. Lze říci, že s postupem doby, především s rozvojem digitálního zpracování zvuku (CD přehrávače) roste počet nahrávek, které nesou informace v oblasti pod 40 Hz a tento trend se výrazně zrychluje.

Navíc pomáhá hlubokotónová jednotka vyřešit i problém vyvážení nejnižších kmitočtů vzhledem ke zbytku kmitočtového pásmá, které se od nahrávky k nahrávce značně liší. Kompenzace tónovou clonou nebo korekcí hloubek na stereofonním zesilovači není vždy vyhovující, protože jejich zdvih nastává většinou při jiném kmitočtu než potřebujeme. Pomocí aktivní hlubokotónové jednotky je možno zvýšit nebo snížit úroveň signálů nejnižších kmitočtů bez ovlivnění zbytku kmitočtového pásmá.

V kapitole 4. jsme uvedli hlubokotónové jednotky různého provedení a objemu. Jednotky lze provozovat s běžným stereofonním zesilovačem nebo upraveným zesilovačem. Způsoby zapojení hlubokotónové jednotky a možnosti připojení ke stereofonnímu zesilovači byly přehledně uvedeny v kapitole 2. K hlubokotónovým jednotkám jsou navrženy reproduktoričtové soustavy (satelity) s objemy od 2,7 dm<sup>3</sup> do 12 dm<sup>3</sup>, které jsou popsány v kapitole 5. Domniváme se, že v uvedených kapitolách čtenáři našli veškeré potřebné údaje ke zhotovení jak hlubokotónových jednotek, tak satelitních jednotek. U uváděných jednotek byla prováděna kromě objektivních měření v mnoha případech též subjektivní hodnocení. Většina čtenářů má svůj reprodukční řetězec zakončen dvěma reproduktoričtovými soustavami

menšího objemu, které může s výhodou použít jako satelitní jednotky a pro přenos nejnižších kmitočtů si může vybrat některou z uvedených hlubokotónových jednotek, včetně způsobu jejího připojení ke stereofonnímu zesilovači.

Tento nové koncepce reprodukce stereofonního signálu se v zahraničí ujala řada firem, které doplnily jak západoevropský, tak americký trh o tento druh reprodukčního zařízení. Nabízejí kompletní reproduktové kombinace se společnou hlubokotónovou jednotkou (subwoofer + 2 satelity), nebo jen samostatné hlubokotónové jednotky (subwoofer).

Abychom uspokojili ty čtenáře, kteří nebudou mít zatím k reproduktovým kombinacím se společnou hlubokotónovou jednotkou důvěru, uvádíme v kapitole 6 veškeré potřebné podklady pro zhotovení klasické třípásmové soustavy s bass-reflexovým rezonátorem.

Jak je známo, reprodukci stereofonního signálu můžeme uskutečnit kromě reproduktových soustav také sluchátka. Ve teoretickém úvodu kapitoly 7 jsme se zaměřili na popis funkce elektroakustických měničů, používaných v kvalitních stereofonních sluchátkách, a také na metodiku objektivních měření a subjektivních hodnocení sluchátek. Dále pak uvádíme některá tuzemská a zahraniční stereofonní sluchátka včetně naměřených nebo udávaných parametrů. Vzhledem k tomu, že sluchátka dnes vyrábí ve světě téměř každý výrobce přístrojů spotřební elektroniky, uvádíme pouze zlomek z této celkové produkce. Snažili jsme se vybrat pokud možno jednotlivé zástupce velké skupiny sluchátek, využívající elektroakustických měničů pracujících na elektrodynamickém, orthodynamicickém a piezoelektrickém principu. S potěšením lze konstatovat, že tuzemská stereofonní otevřená sluchátka TESLA ARF 220 jsou plně srovnatelná s obdobnými zahraničními typy.

V závěru této práce jsme uvedli popis základních metod objektivních a subjektivních hodnocení podle příslušných ČSN. Je pravdou, že některí čtenáři si soubor uvedených norem mohou opatřit a podrobně se s nimi seznámit, ale pro většinu bude zřejmě i stručný přehled nejdůležitějších elektroakustických měření velmi vitaný.

### Literatura

- [1] *Merhaut, J. a kol.*: Příručka elektroakustiky. SNTL: Praha 1964.
- [2] *Merhaut, J.*: Teoretické základy elektroakustiky. Academia: Praha 1976.
- [3] *Merhaut, J.*: Zvuková technika. (Učební text): Ediční středisko CVUT: Praha 1983.
- [4] *Smetana, C. a kol.*: Praktická elektroakustika. SNTL: Praha 1981.
- [5] *Svoboda, L., Štefan, M.*: Reproduktory a reproduktové soustavy. SNTL: Praha 1983.
- [6] *Boleslav, A.*: Elektroakustická a elektromechanická měření. SNTL: Praha 1961.
- [7] *Salava, T.*: Elektroakustická a elektromechanická měření. SNTL: Praha 1979.
- [8] *Sýkora, B.*: Stereofonie v praxi. SNTL: Praha 1980.
- [9] *Smetana, C.*: Stereofonie. SNTL: Praha 1961.
- [10] *Svoboda, J., Brda, J.*: Elektroakustika do kapsy. SNTL: Praha 1978.

- [11] *Kolmer, F., Kyncl, J.*: Prostorová akustika. SNTL/ALFA: Praha/Bratislava 1980.
- [12] *Dušek, K.*: Záznam a reprodukce zvuku (učební text). Ediční středisko CVUT: Praha 1982.
- [13] *Boleslav, A., Jončev, M.*: Reproduktory a reproduktové soustavy. AR B/1984.
- [14] *Jončev, M.*: Reproduktové soustavy. AR B/1984.
- [15] *Bártá, J.*: Optimalizace návrhu elektrických výhybek. AR A/1985.
- [16] ČSN 36 8261: Reproduktory (1967).
- [17] ČSN 36 8262: Přímozaříjící elektrodynamicke reproduktory (1967).
- [18] ČSN 36 8265: Reproduktové soustavy (1971).
- [19] ČSN 36 7006: Měření akustických charakteristik přístrojů a zařízení s akustickým výstupem (1972).
- [20] Časopisy HiFi-Stereophonie (NSR) č. 7/79, 1/82, 12/82.
- [21] Časopis STEREOPLAY (NSR) č. 12/85.
- [22] Firemní literatura SONY, ASAHI, PIONEER, SANYO.
- [23] A0 235 658.
- [24] A0 234 704.
- [25] Časopis Radio (SSSR) č. 2/83.
- [26] Časopis AUDIO (USA) August 83.
- [27] PV 8318-84.

## NÁVRH ROZHLASOVÉHO PŘIJÍMAČE

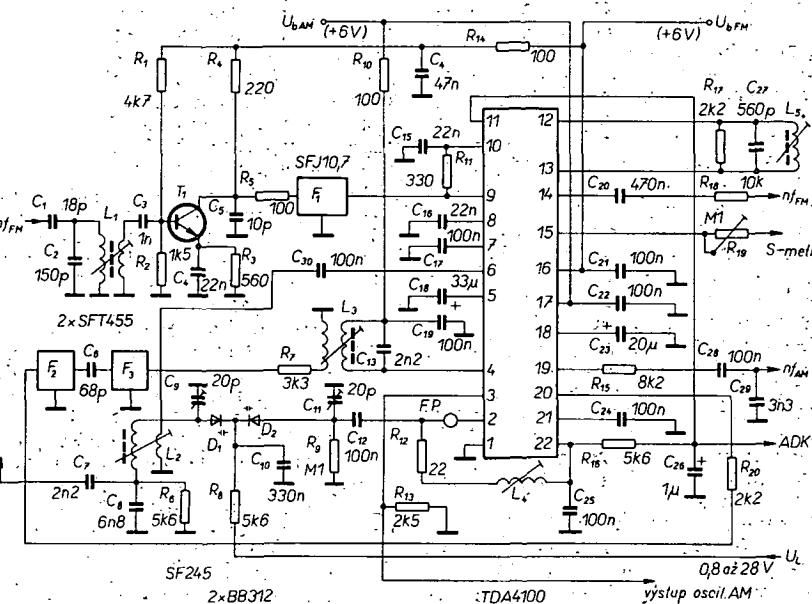
Vojtěch Matoušek

(Dokončení)

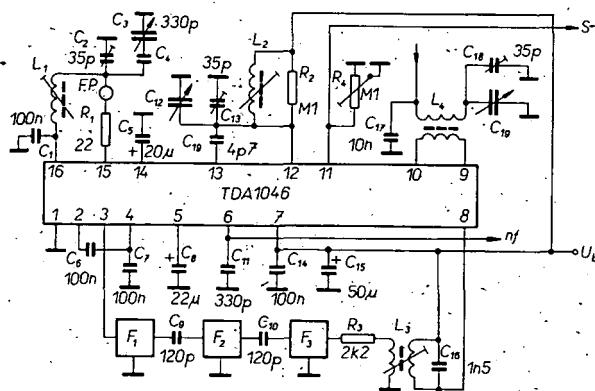
Na obr. 41 je zapojení kombinovaného mf zesilovače AM-FM s IO A4100D. A4100D (TDA4100) je AM přijímač a FM mf. zesilovač, který má pouze společný výstup na S-metr. Každá ze signálových cest je samostatná. Signál z jednotky VKV je veden přes  $L_1, C_1, C_3$  do předesilovače  $T_1$ , jehož pracovní bod je nastaven  $R_1, R_2$ . Z pracovního rezistoru  $R_4$  je signál veden přes  $R_5$  na filtr  $F_1$  a odtud do omezovače v TDA4100. Na vývody 12 a 13 IO je připojen detekční obvod  $L_5, C_{27}, R_{17}$ . Fázovací kondenzátory jsou součástí IO. Na vývodu 14 je k dispozici detekovaný napětí zesilovače FM. Na vývodu 15 IO je k dispozici napětí pro S-metr, které obdržíme jak při provozu FM, tak AM. Při provozu FM je zesilovač napájen napětím, přivedeným na vývod 16 IO, při provozu AM napětím přivedeným na vývod 17. Výstupní napětí AM je odebráno z vývodu 19 IO. Napětím ADK z vývodu 11 je možné řídit kmitočet oscilátoru v jednotce VKV. Časová konstanta pro FM je dána  $C_{18}$ . Mf zesilovač AM je buzen z výstupu směšovače AM (vývod 4 IO) přes  $L_3, R_7, F_2$  do vývodu 20 IO, kde je vstup mf zesilovače

AM. Součástí mf zesilovače AM je i detektor AM a dolní propust. Časová konstanta AVC pro AM je nastavena kondenzátorem  $C_{23}$  na vývodu 18 IO. Na vývodu 22 je stabilizované napětí 2,7 V/2 mA<sub>max</sub>. Oscilátor AM na vývodu 2 IO je tvořen  $L_4, R_{12}, C_{12}, C_{11}, R_2$ . Rezistor  $R_9$  uzavírá stejnosměrný obvod  $D_2$ . Pro měření kmitočtu je oscilátor AM vyveden přes vnitřní emitorový sledovač na vývod 3 IO. Signál z antény je přes  $C_7, L_2$  a  $C_{30}$  veden na vstup mf zesilovače, řízeného vnitřním napětím AVC. Vstup v mf zesilovače je vyveden na vývody 6 a 7 IO, takže je umožněno i symetrické připojení vstupního obvodu. Vstupní obvod je přelaďován  $D_1$ , stejnosměrně je uzavřen přes  $R_6$ .

Zapojení kvalitního přijímače AM pro jeden vlnový rozsah je na obr. 42. Jako aktivní prvek je použit IO TDA1046 fy Siemens, který je vyráběn i v RSR a PLR. Vstupní signál z antény je přes  $L_4$  přiveden na vstup mf předesilovače, řízeného vnitřním obvodem AVC. Z výstupu předesilovače (vývod 12) je signál přes  $L_2$  a  $C_{19}$  veden na vstup směšovače (vývod



Obr. 41. Zapojení přijímače AM a mf zesilovače pro FM s A4100D



13), na jehož výstup (vývod 8) je připojen přes  $L_2R_3$  filtr soustředěné selektivity ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ). Z výstupu tohoto filtru je signál veden do třístupňového mf zesilovače, který má první dva stupně řízené napětím AVC. Časovou konstantu napětí AVC pro předzesilovač lze měnit kondenzátorem  $C_5$  a časovou konstantu napětí AVC pro mf zesilovač kondenzátorem  $C_8$ . Na výstupu mf zesilovače je zapojen detektor. Detekovaný nf signál je veden přes dolní propust a nf předzesilovač na výstup nf (vývod 6). Napětí pro S-metr lze odebírat z vývodu 11.

Na obr. 43 je zapojení středovlnného přijímače s A244D (TCA440). Vstupní signál je přes  $L_1$  veden na výstup nf předzesilovače, jehož zisk je možno řídit napětím na vývodu 3. Dále je vstupní signál veden do směšovače, kam je přiváděn i signál oscilátoru  $L_2D_3$ .  $C_5$  je paddingový kondenzátor. Z výstupu směšovače (vývod 15) je signál veden přes  $L_3C_6$  na keramický filtr a z keramického filtru na vstup mf zesilovače (vývod 12). Druhý vstup mf zesilovače je přes  $C_8C_9$  uzemněn. Na výstup mf zesilovače (vývod 7) je připojen diodový detektor  $D_4C_{12}$ , na jehož výstupu je detekovaný signál a usměrněný signál mf, který je filtrován  $C_{14}$ . Usměrněný vf signál je řízen zesilovačem AVC, jehož časová konstanta je nastavena článkem  $R_3C_{10}$ . Z výstupu mf zesilovače je odebíráno napětí pro S-metr.

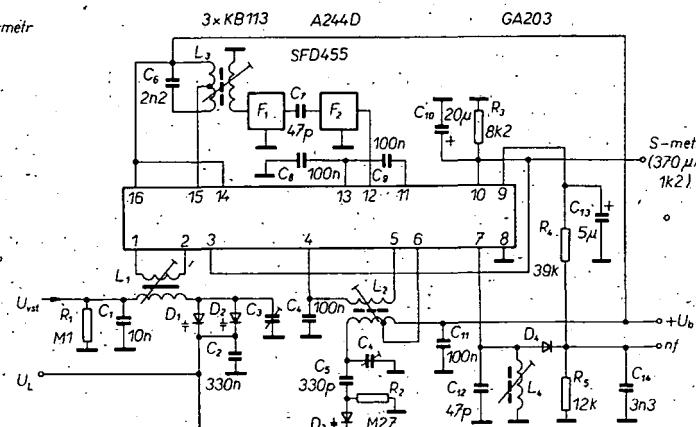
### Vstupní obvody přijímače, ladění přijímače

Vstupní a oscilátorové obvody superheterodynálního přijímače je možné ladit proměnnou indukčností (variometrem), proměnným ladícím kondenzátorem nebo varikapem. V současné době se vedle ladících kondenzátorů a variometrů používají pro ladění na rozsazích AM i varikapy, jejichž výhody si popíšeme.

Při použití varikapů pro ladění vstupních a oscilátorových obvodů získáváme následující výhody:

- laděný obvod zaujímá menší plochu, což je výhodné zejména v autopřijímačích a přenosných přijímačích,
- varikap lze umístit do optimálního místa v zapojení, což umožňuje konstruktorovi umístit ovládací prvek (obvykle potenciometr) na libovolné místo, neboť nemusí být žádná mechanická vazba mezi varikapem a ovládacím prvkem,
- jednoduše lze realizovat zvýšený komfort – předvolbou vysílačů nebo automatické ladění.

Je zřejmé, že tyto vlastnosti varikapů se uplatní nejen v pásmu VKV, nýbrž i v pásmech AM, tj. na dlouhých, středních a krátkých vlnách. Při použití varikapů k ladění v pásmech AM vznikají ovšem i problémy, způsobené zejména silnými



Obr. 42. Zapojení přijímače AM s TDA1046

Obr. 43. Základní zapojení AM přijímače s A244D

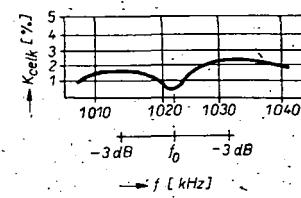
signály (větší zkreslení nf signálu způsobené velkým nakmitaným napětím na laděném obvodu). Dále v pásmech AM je nutné, aby varikap měl velký poměr mezi kapacitou při malém ladícím napětí a kapacitou při velkém ladícím napětí. Přes tyto nevýhody se v pásmech AM varikapy uplatňují stále častěji.

Dále si rozebereme problémy, vznikající s použitím varikapů. Varikap je nelineární prvek, jehož kapacita je závislá na přivedeném ladícím napětí. Pokud je v laděném obvodu použit jako kondenzátor varikap, pak je nutné při vybuzení kmitavého obvodu počítat s nelineárním zkreslením elektrického signálu. Zkreslení se, pokud nejsou učiněna protiopatření, zvětšuje s napětím signálu na varikapu, takže jsou kritické zejména silné signály. Nelineárními vlastnostmi varikapů mohou být způsobeny nežádoucí jevy. V kmitavém obvodu s varikapou vznikají kromě základní vlny, i její harmonické, které mohou způsobit rušení.

Pódstatně rušivější působí dva nebo několik vstupních signálů, které se dostanou na kmitavý obvod. Nežádoucí jevy je pak křížová modulace, při níž modulace rušivého signálu působí na signál užitečný. Pokud se vyskytne na užitečné nosné rušivý signál, který je v pásmu užitečného kanálu, pak jej již žádnými selektivními prostředky nelze odstranit. Proto je nutné, aby křížová modulace, způsobená varikapem ve vstupním obvodu, byla co nejmenší.

Rovněž nepřijemná je intermodulace (u amplitudově modulovaného vf signálu) vlivem nelinearity přenosu mezi nosnou a horním a dolním postranním pásmem, která při přítomnosti harmonických modulačních signálů způsobí v postranných pásmech modulační zkreslení, což znamená, že se zvětší zkreslení přenášeného nf užitečného signálu. Rovněž i zde rušivé jevy, způsobené nelinearity varikapu ve vstupním obvodu, nelze již žádnými dalšími prostředky odstranit, neboť nežádoucí intermodulační produkty jsou v pásmu užitečného signálu.

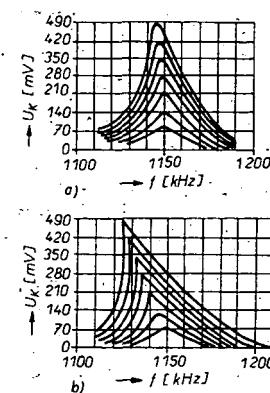
Popsané nežádoucí jevy způsobené nelinearity varikapu, zejména křížové modulace a intermodulace, závisí rovněž na rozladení kmitavého obvodu od užitečné nosné. Tyto vlastnosti mohou být odvozeny teoreticky nebo zjištěny praktickým měřením. Na obr. 44 je příklad změřené závislosti nf činitele zkreslení na rozladení obvodu při konstantním napětí signálu  $U_k$  na vstupním obvodu laděném varikapem při příjmu amplitudově modulovaného vf signálu heterodynálního přijímače. Je zřejmé, že při přesném nastavení činitel zkreslení  $k_{celk}$  bude malý a že se při kladném nebo záporném rozladení



Obr. 44. Závislost nf činitele zkreslení  $k_{celk}$  na rozladení  $\Delta f/f$  vstupního obvodu s KB113 při příjmu amplitudově modulovaného vf signálu. Nosný kmitočet 1022,7 kHz,  $f_{mod} = 400$  Hz,  $m = 80\%$ ,  $U_L = 4$  V, napětí signálu na varikapu  $U_{kef} = 245$  mV. Při použití ladidloho kondenzátoru je  $k_{celk}$  menší než 0,25 %

bude zvětšovat a při velkém rozladení opět zmenšovat. Maxima zkreslení jsou v místech, v nichž se propustná křivka obvodu sníží o 3 dB vzhledem k maximu. Podobnou závislost dostaneme mezi rozladením a činitelem křížové modulace. Nelineární zkreslení způsobené rozladením lze zmenšit zvětšením šířky pásmá vstupního obvodu, což však zhoršuje selektivitu vstupního obvodu. S ohledem na dobré přijmiové vlastnosti je zapotřebí udělat kompromis mezi zkreslením a selektivitou vstupního obvodu.

Vzhledem k napěťové závislosti kapacity varikapu vznikají další nežádoucí jevy: Rezonanční křivka obvodu laděného varikapem se při zvětšujícím se nakmitaném napětí stává nesymetrická, což vede k pohybu rezonanční křivky.



Obr. 45. Vliv amplitudy vf napětí na rezonanční křivku kmitavého obvodu laděného varikapem: a) pro varikap s vhodnou křivkou kapacity, b) pro varikap s nevhodnou křivkou kapacity

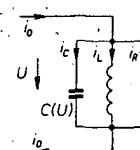
suu rezonančního kmitočtu a tím k rozlédání obvodu. Jak je zřejm z obr. 45, na kterém jsou rezonanční křivky obvodů se dvěma různými varikapami pro různá rezonanční napětí, může být deformace tak veliká, že hrana rezonanční křivky bude kolmá. Popsané nelineární jevy a deformace rezonanční křivky, jak vyplývá z teoretické úvahy, jsou vždy způsobené napěťovou, závislostí kapacity varikapu. Při velkém přebuzení deformací rezonanční křivky vzniklý posuv rezonančního kmitočtu vstupního obvodu je spojen vždy s odpovídajícím modulačním zkreslením a velkou křížovou modulací. Požadujeme-li např. malé zkreslení nf signálu, pak dostáváme závislost mezi ladicím napětím  $U_L$  a přípustným maximálním napětím signálu  $U_k$ , která musí být při návrhu obvodu uvažována, abychom tento požadavek splnili. Při malém ladicím napětí  $U_L$  je přípustné napětí  $U_k$  malé a zvětšuje se přímo úměrně s rostoucím napětím  $U_L$ . Prátože varikap pracuje v závěrném směru, nesmí být mezi vrohovou velikost napětí  $U_k$  na varikapu větší než ladicí napětí  $U_L$ . Od určitého napětí  $U_L$  se již přípustné napětí  $U_k$  nezvětšuje, ale zůstává více či méně konstantní a při velkém  $U_L$  se opět zmenšuje. Kritický rozsah odolnosti vůči velkým signálům u varikapu je tedy při malém a velkém ladicím napětí  $U_L$ .

Vyštavá tedy otázka, zda je možné zpracovat velké vstupní signály při použití varikapem laděného vstupního obvodu, bez toho, že by vznikly výše popsané nežádoucí jevy. Tento problém je možné řešit dvěma způsoby:

- zlepšením vlastností varikapu s ohledem na velké signály. Teoretické a praktické výzkumy ukázaly, že nelineární vlastnosti varikapů jsou velmi závislé na kapacitě varikapu nastavené ss napětím, tj. na charakteristice varikapu. Výpočty, jejichž výsledky jsou uvedeny dále, mají dokázat, že je optimální závislost mezi  $C_0$  a  $U_L$ , při níž rozlédení obvodu, křížová modulace a modulační zkreslení mohou být v prvním přiblížení zanedbány. V praxi je nutno však počítat s tolerancemi, takže se částečně uplatní jevy vedoucí ke zkreslení;
- regulačním obvodem lze dosáhnout toho, že amplituda signálu  $U_k$  na obvodu bude menší než maximálně přípustná velikost. Regulační obvod musí být navržen tak, aby nezpůsoboval zkreslení. Zapojení takového obvodu je uvedeno dále.

První metoda, jak je patrné, je závislá na technologii výroby varikapu, kdežto druhá je závislá na obvodovém řešení. Při vysokých požadavcích na přijímač je nutno obě metody vhodně kombinovat.

Abychom dosáhli optimální charakteristiky varikapu, je nutné vztít v úvahu nonlinearity, které vznikají na kmitavém obvodu s varikapem. Výchozím bodem pro takový výpočet je diferenciální rovnice kmitavého obvodu: V obr. 46 jsou zanedbány rezistory v sérii s cívkou a kon-



Obr. 46. Zapojení kmitavého obvodu pro rozbor vlivu varikapu

denzátorem. Příslušná diferenciální rovnice vychází z obvyklé definice kapacity

$$C = \frac{dq}{du} \quad (\text{kde } q \text{ je náboj}) \quad (1)$$

a základních vztahů

$$i_C = \frac{dq}{du} = \frac{dq}{du} : du \cdot dt = C \frac{du}{dt},$$

$$i_R = U/R = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt} / dt,$$

Derivací rovnice  $i_R + i_L + i_C = i_0$  a dosazením příslušných výrazů

$$L \frac{d}{dt} \left[ C(u) \frac{du}{dt} \right] + \frac{L}{R} \frac{du}{dt} + u = \frac{d_0}{dt} \quad L \quad (2)$$

nebo

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d}{dt} \left[ \frac{C(u) du}{C_0 dt} \right] + \frac{1}{\omega_0 Q} \frac{du}{dt} + u = \frac{1}{\omega_0^2 C_0} \frac{d_0}{dt} \quad (3)$$

kde  $C_0 = C(U_0)$  je kapacita při ss napětí  $U_0$ ,

$$\omega_0 = 1 / \sqrt{LC_0} \text{ rezonanční kmitočet},$$

$$Q = \omega_0 C R \text{ jakost obvodu},$$

$$i_0 \text{ celkový proud tekoucí obvodem},$$

$$u = U - U_0 \text{ napětí signálu}.$$

Kapacita  $C$  závisí na napětí a mění se podle diferenciální rovnice, která není zcela obecná. Pro kapacitu  $C$  v okolí pracovního bodu platí (podle kvadratického člena odvozeného Taylorova rozvoje):

$$C(u) = C_0 + C'_0 u + 0,5 C''_0 u^2 \quad (3)$$

kde  $C'_0$  a  $C''_0$  jsou první a druhá derivace kapacity  $C(u)$  v pracovním bodě, které jsou dány vztahy

$$C'_0 = \frac{dC}{du} / U_0,$$

$$C''_0 = \frac{d^2C}{du^2} / U_0.$$

Připusťme, že v kmitavém obvodu vzniknou nelineární jevy, vyjádřené veličinou

$$\psi(U_0) = \frac{C_0}{8C_0} - \frac{1}{6} \frac{(C'_0)^2}{C_0} \quad (4)$$

Za daného předpokladu dostaneme např. přibližně změnu  $\Delta f$  rezonančního kmitočtu kmitavého obvodu v závislosti na efektivní velikosti signálového napětí  $U_k$  na obvodu:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f(U_k) - f_0}{f_0} = \psi U_k^2 \quad (5)$$

kde  $f(U_k)$  je rezonanční kmitočet při napětí  $U_k$  a  $f_0$  tentýž při  $U_k = 0$ . Dále platí pro nf zkreslení  $k_2$  a  $k_3$ , způsobené obvodem při stupni modulaci  $m$  u amplitudově modulovaného vf signálu:

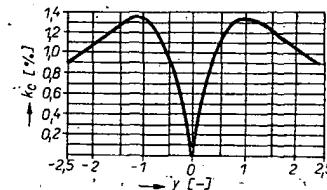
$$k_2 \approx 10m (\psi QU_k^2)^2, \quad k_3 \approx 0,5mk_2. \quad (6)$$

a nakonec za daných předpokladů při dvou vf signálech na obvodu bude činitel křížové modulace

$$k_c = \frac{m_c}{m_s} = 32(1 + 0,75m_s)(\psi QU_s^2)^2 \quad (7)$$

kde  $m_s$  je stupeň modulace,  $U_s$  efektivní velikost základní harmonické rušivého signálu na obvodu a  $m_c$  stupeň modulace vf užitečného signálu. V rovnici (7) předpokládáme, že nosná užitečného signálu je menší, než signálu rušivého. Z rovnic (5) až (7) vyplývá, že nonlinearity se prudce zvětšuje se signálovým napětím  $U_k$  nebo  $U_s$  na obvodě. Vztahy (6) a (7) platí jen při přesném nastavení na užitečnou nosnou. Při normovaném rozlédení

$$y = \frac{2(f_N - f_0)}{f_0} Q \quad \text{platí pro činitel křížové}$$



Obr. 47. Příklad závislosti činitele křížové modulace  $k_c$  na normovaném rozlédení  $y$  v kmitavém obvodu s varikapem  $C(U)$ :  $Q = 50$ ,  $\psi = 6,75 \cdot 10^{-3}$ ,  $U_{ket} = 100 \text{ mV}$ ,  $m_s = 0,8$

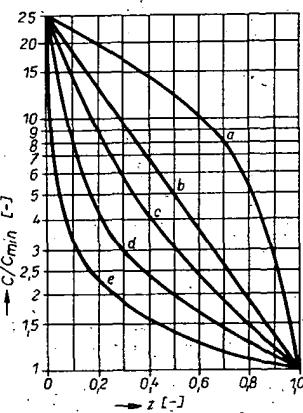
modulace:

$$k_c = \frac{8yQ\psi U_s^2}{1+y^2} + \frac{32(1+2y)^2}{(1+y^2)^2} \cdot (1 + 0,75m_s)(\psi QU_s^2)^2 \quad (7a)$$

Pro  $y = 0$  dostaneme samozřejmě výraz (7). Pomineme-li malou nesymetrii, dostaneme podle rovnice (7a)  $k_c$  s rostoucím rozléděním  $y$  výsledky shodné s měřením (viz obr. 44) teprve při rozlédení  $|y| > 1$ . Příklad je na obr. 47. Nulové body při malém záporném rozlédení nejsou v praxi vzhledem k dodatečným jevům patrné.

Charakteristická veličina  $\psi$ , závislá na nelineárních jevech, bude určena rovnici (4) z kapacity  $C$ , strmosti a zakřivení charakteristiky varikapu v daném pracovním bodě, tzn. z tvaru a polohy charakteristiky  $C(U)$ .  $\psi$  je závislé na pracovním bodě  $U_0$ . Podle rovnice (4) je  $\psi$  tvořeno dvěma členy, které se při vhodných  $C, C'$  a  $C''$  přímo kompenzují, takže  $\psi$  může odpadnout.

Pro přehlednost jsou zkoumány různé charakteristiky varikapů a je vypočítána maximální hodnota  $\psi$  v rozsahu napětí  $U_{\min}$  a  $U_{\max}$ . Na obr. 48 jsou vyneseny jednotlivé zvolené závislosti kapacity  $C$  na



Obr. 48. Různé charakteristiky varikapů v normovaném provedení  $C(z)$ :  $C_{\min} = f(z)$ ; a) lineárně klesající, b) exponenciální, c) mocninová s  $n = 3$ , d) mocninová s  $n = 1$ , e) mocninová s  $n = 0,5$

napětí  $U$ . Je zvoleno normalizované provedení, při kterém je na svislou osu vynesen poměr  $C/C_{\min}$  a na vodorovnou osu veličina

$$z = \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} \quad (8)$$

takže je možné porovnáti nezávisle na rozsahu napětí  $U_{\min}$  až  $U_{\max}$  a na kapacitě. Dále platí vztahy:

$$C_{\min} = C(U_{\min}) = C(z = 0), \quad C_{\max} = C(U_{\max}) = C(z = 1)$$

$$C_{\max} > C_{\min} \text{ a } U_{\max} > U_{\min}$$

Na obr. 48. jsou uvedeny následující závislosti:

a. Při zvětšujícím se napětí se lineárně zmenšuje kapacita (křivka a na obr. 48):

$$C = C_A (B - U) \quad (9)$$

nebo v normalizovaném vyjádření

$$\frac{C}{C_{\min}} = q = (q - 1)z \quad (9a)$$

kde  $q = C_{\max}/C_{\min}$ ,  $C_A = \frac{C_{\min}(q - 1)}{U_{\max} - U_{\min}}$ ,

$$B = \frac{qU_{\max} - U_{\min}}{q - 1}.$$

Pro veličinu  $\Psi$  dostaneme z rovnic (4) a (9)

$$\Psi = \frac{-1}{6(B - U)^2} \quad (9b),$$

takže maximální  $|\Psi|$  bude při  $U_{\max}$ :

$$|\Psi|_{\max} = \frac{1}{6(B - U_{\max})^2} = \frac{1}{6} \left| \frac{C_{\max}}{U_{\max} - U_{\min}} - 1 \right| \quad (9c).$$

b. Exponenciální charakteristika (křivka b na obr. 48)

$$C = C_A e^{-U/B} \quad (10)$$

$$\text{nebo } \frac{C}{C_{\min}} = \exp[(1-z)\ln q] \quad (10a)$$

kde  $q = C_{\max}/C_{\min}$ ,  $B = (U_{\max} - U_{\min})/\ln q$ ,

$$C_A = C_{\min} e^{B/U_{\max}} = C_{\min} \left( \frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right) \frac{U_{\max}}{U_{\max} - U_{\min}}$$

Charakteristická veličina  $\Psi$  zde bude:

$$\Psi = -\frac{1}{24B^2} = -\frac{1}{24} \left( \frac{\ln(C_{\max}/C_{\min})}{U_{\max} - U_{\min}} \right)^2 \quad (10b)$$

a je nezávislá na napětí  $U$ , takže pro maximální hodnotu platí

$$|\Psi|_{\max} = |\Psi| \quad (10c).$$

c. Charakteristická mocninová (křivka c pro  $n = 3$ , křivka d pro  $n = 1$  a křivka e pro  $n = 0,5$  na obr. 48)

$$C = \frac{A}{(U + B)^n} \quad (11)$$

$$\text{nebo } \frac{C}{C_{\min}} = \left( \frac{q'}{1 + (q' - 1)z} \right)^n \quad (11a)$$

$$\text{kde } q' = \left( \frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right)^{1/n}, \quad A = C_{\min} \left[ \frac{q' - 1}{q'} (U_{\max} - U_{\min}) \right]^n,$$

$$B = \frac{U_{\max} - q' U_{\min}}{q' - 1}$$

Pro veličinu  $\Psi$  lze z rovnic (4) a (11) odvodit:

$$\Psi = \frac{n}{8} \left( \frac{n}{3} \right) \frac{1}{(U + B)^2} \quad (11b).$$

Maximální hodnota  $\Psi$  bude při  $U = U_{\min}$

$$|\Psi|_{\max} = \frac{n}{8} \left( 1 - \frac{n}{3} \right) \left( \frac{(C_{\max}/C_{\min})^{1/n} - 1}{U_{\max} - U_{\min}} \right)^2$$

Pro všechny zde uvedené charakteristiky varikapů (mimo mocninové charakteristiky při  $n = 3$ ) dostáváme maximální hodnotu  $\Psi$  a z ní vyplývající nelineární jevy s rostoucím poměrem kapacit  $C_{\max}/C_{\min}$

a t. p. rostoucím rozsahu napětí  $U_{\max} - U_{\min}$ .

V tab. 8 jsou hodnoty veličiny  $|\Psi|_{\max}$  pro nahoře diskutované a na obr. 48 zobrazené charakteristiky pro poměr kapacit  $C_{\max}/C_{\min} = 25$  a rozsah napětí  $U_{\max} - U_{\min} = 8 \text{ V}$ . Z tab. 8 je zřejmé, že lineární klesající a mocninová charakteristika pro  $n = 2$  způsobují při velkém přebuzení velké až nepřípustné nelinearity. Je zřejmé, že pro potlačení nelinearity v důsledku velkého signálu jsou nevhodnější varikap s exponenciální nebo mocninovou charakteristikou, kde mocnina se blíží 3. Z rovnice (11b) je zřejmé, že při  $n = 3$  bude veličina  $\Psi$  rovna nule a tak lze odstranit nelineární zkreslení. V praxi však i při exponentu  $n = 3$  vznikají v malé míře nelinearity. Přesto je mocninová charakteristika s exponentem  $n = 3$  ideální charakteristikou varikapu  $C(U)$  pro kapacitu varikapem laděného obvodu.

V předchozích částech je vždy uvažována celková kapacita laděného obvodu. Ve varikapem laděném paralelním kmitavém obvodu je celková kapacita tvořena napěťově závislou kapacitou  $C_D$  varikapu a napěťově nezávislou kapacitou  $C_p$  (kapacita čívky, vedení, obvodová), takže

$$C = C_D + C_p \quad (12).$$

Nakonec si stanovíme optimální charakteristiku  $C_D(U_L)$  varikapu, pro kterou platí rovnice (12)

$$C_D(U_L)_{\text{opt}} = C(U_L)_{\text{opt}} - C_p \quad (12a),$$

kde pro  $C(U_L)_{\text{opt}}$  použijeme mocninovou charakteristiku pro  $n = 3$  podle rovnice (11). Je zřejmé, že podle rovnice (12) platí:

$$C_{\min} = C_{D\min} + C_p \text{ a } C_{\max} = C_{D\max} + C_p.$$

Pro optimální charakteristiku varikapu dostaneme

$$C_D(U_L)_{\text{opt}} = \frac{A}{(U + B)^3} - C_p \quad (13)$$

nebo

$$\left( \frac{C_D(z)}{C_{D\min}} \right)_{\text{opt}} = \left( \frac{q''}{1 + (q'' - 1)z} \right)^3 (1 + p) - p \quad (13a)$$

kde  $p = C_p/C_{D\min}$ ,  $d = C_{D\max}/C_{D\min}$ ,

$$q'' = \left( \frac{d + p}{1 + p} \right)^{1/3} = \left( \frac{C_{D\max} + C_p}{C_{D\min} + C_p} \right)^{1/3}$$

$$B = \frac{U_{L\max} - q'' U_{L\min}}{q'' - 1}$$

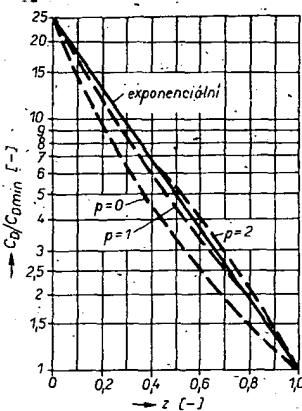
$$A = \frac{q''}{q'' - 1} (U_{L\max} - U_{L\min})^3 (C_{D\min} + C_p),$$

podle rovnice (8):

Optimální charakteristika varikapu je závislá tedy i na paralelní kapacitě  $C_p$  kmitavého obvodu. Poměr  $p$  paralelní kapacity  $C_p$  k minimální kapacitě  $C_{D\min}$  varikapu je v praxi u středovlnného vstupního obvodu 0,5 až 2. Na obr. 49 jsou normované charakteristiky podle rovnice (13a) pro  $p = 0, 1, 2$  a pro porovnání exponenciální charakteristika podle rovnice (10a) pro  $C = C_D$  při poměru kapacit  $d = C_{D\max}/C_{D\min} = 25$ . Je zřejmé, že pro varikap s exponenciální charakteristikou se jen málo liší od ideální charakteristiky pro  $p = 1$  a  $p = 2$ . V praxi na jedné straně

Tab. 8. Hodnoty  $|\Psi|_{\max}$  na charakteristice varikapu

Charakteristika varikapu	$ \Psi _{\max}$
lineární klesající, rovn. (9)	1,50
exponenciální, rovn. (10)	6,75, 10 <sup>-3</sup>
mocninová rovnice (11) $n = 0,5$	317
$n = 1,0$	0,75
$n = 2,0$	2,08, 10 <sup>-2</sup>
$n = 3,0$	0



Obr. 49. Optimální charakteristika varikapu při různých napěťově nezávislých paralelních kondenzátořích podle rovnice (13a) (čárkován), porovnána s exponenciální charakteristikou podle rovnice (10a). Sledovaný parametr  $p = C_p/C_{D\min}$ .

kapacita paralelního kondenzátoru není nikdy přesně stanovena, a na druhé straně průběh realizované charakteristiky má určité „výrobní“ tolerance, takže varikap s exponenciální charakteristikou dává velmi dobré výsledky.

V oscilátoru jsou vzhledem k sériové kapacitě (padding) jiné poměry než ve vstupním obvodu, takže charakteristika  $C_D(U_L)$  podle rovnice (13) nemusí být optimální. Je možné bez potíží oscilační napětí udržet tak malé, že můžeme zanedbat rušivé jevy vzniklé nežádoucím rozdělením. Oscilátorové napětí se snažíme udělat co nejmenší, abychom neměli např. problémy s vyzárováním.

Nakonec této statě je třeba ještě jednou zdůraznit, že optimalizaci charakteristiky můžeme potlačit rušivé jevy. Je známo, že varikap má řadu dalších vlastností, jako je např. teplotní činitel, sériový odpór, různý průběh ladící charakteristiky  $f = f(U_L)$  varikapem laděného kmitavého obvodu, který souvisí s charakteristikou varikapu  $C_D/U_R$ , které mají podstatný vliv na parametry kmitavého obvodu. Dále se uplatňují technologické omezení při výrobě, vyplývající z fyzikální podstaty. V praxi je tedy volen kompromis.

#### Potřebná kapacita a změna kapacity varikapu

Pokud je kmitavý obvod přelaďován v kmitočtovém rozsahu  $f_1$  až  $f_2$  ( $f_2 > f_1$ ) změnou kapacity, pak obvodová kapacita musí být v poměru:

$$\frac{C_{\max}}{C_{\min}} = \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^2 \quad (14).$$

Obvodová kapacita varikapem laděného kmitavého obvodu je tvořena kromě kapacity varikapu  $C_D$  ještě konstantní para-

lelní kapacitou  $C_p$ , která je součtem nezbytné kapacity zapojení (kapacita cívky, kapacita dodávacího kondenzátoru, kapacita vodičů a vstupní kapacita připojeného obvodu). Kapacita  $C_p$  je při „bezkapacitní“ montáži v praxi asi 10 až 25 pF, je závislá také na mechanickém provedení, a na tom, jedná-li se o jedno nebo několik karosárových přijímačů, jak se přepínají rozsahy (např. paralelním nebo bezkapacitním sériovým zapojením cívek) a mění-li se ve vstupním nebo oscilátorovém obvodu.

S ohledem na konstantní paralelní kapacitu  $C_p$  a proměnnou kapacitu  $C_D$  platí pro obvodovou kapacitu  $C = C_D + C_p$ , takže z rovnice (14) dostaneme vztah:

$$\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 = \frac{C_{D\max} + C_p}{C_{D\min} + C_p} \quad (15)$$

Tato rovnice se může vyjádřit pomocí poměru kapacit  $C_{D\max}/C_{D\min}$ :

$$\frac{C_{D\max}}{C_{D\min}} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 + \frac{C_p}{C_{D\min}} \left[ \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 - 1 \right] \quad (16)$$

nebo paralelní kapacitou  $C_p$ :

$$C_p = \frac{\frac{C_{D\max}}{C_{D\min}} - \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2}{\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 - 1} C_{D\min} \quad (17)$$

U superheterodynů, jak je známo, může být při „jednoknólikovém“ ladění chyba souběhu mezi vstupním a oscilátorovým obvodem minimální, když je (při ladění změnou kapacity) poměr  $C_p/C_D$  stanoven z ladící kapacity vstupního a oscilátorového obvodu. Zejména při  $C_p/C_D = 1$ , jak je při použití varikapů obvyklé, je zásadně možné dosáhnout na třech kmitočtech v přeřaďovaném pásmu minimální chyby souběhu (tríbodový souběh).

Výrazy (15) až (17) lze při výpočtu použít i pro návrh obvodu superheterodynůho přijímače. Pro přesný návrh je na obr. 50 vynesen s ohledem na tríbodový souběh poměr kapacit  $C_{D\max}/C_{D\min}$  a  $C_p$ , pro dané  $C_D$  a pro středovlnný vstupní obvod. Jakou mezní kmitočty rozsahu jsou  $f_1 = 510 kHz,  $f_2 = 1620 kHz a  $f_{ml} = 460$  kHz.$$

Z křivek na obr. 50 můžeme odvodit, že je při zvětšující se paralelní kapacitě  $C_p$ , při daném poměru  $C_{D\max}/C_{D\min}$  se většinou potřebná kapacita  $C_{D\max}$  zvětšuje nebo se při konstantním  $C_{D\max}$  zmenšuje poměr  $C_{D\max}/C_{D\min}$ . Pro varikap platí z výrobních důvodů přijatelný kompromis mezi  $C_{D\max}$  a poměrem  $C_{D\max}/C_{D\min}$ . Vezmeme-li např. poměr  $C_{D\max}/C_{D\min} = 20$ , který lze ještě dobře realizovat, pak bude podle obr. 50 při  $C_p = 25$  pF  $C_{D\max} = 500$  pF a při  $C_p = 20$  pF bude  $C_{D\max} = 400$  pF. Pro přeřadění střední vln tedy prakticky potřebujeme maximální kapacitu mezi 400 až 600 pF. Cílem bude větší maximální kapacita  $C_{D\max}$  varikapu vztázená na stejný poměr  $C_{D\max}/C_{D\min}$ , tím snadněji se daný obvod realizuje a navrhujeme.

Dlouhovlnný rozsah je oproti středovlnnému užší a proto je možné pro dlouhé vlny použít „středovlnný“ varikap. Se současnými varikapami není možné přeřadit celý krátkovlnný rozsah od 49 m do 11 m bez rozdělení pásmo. Při  $C_p = 25$  pF,  $C_{D\max}/C_{D\min} = 20$  a  $C_{D\max} = 500$  pF je poměr kmitočtů  $f_2/f_1 = 3,24$ , takže v pásmu KV je možné ladit od 5,95 do 17,9 MHz.

Obr. 50. Závislost potřebného poměru kapacit  $C_{D\max}/C_{D\min}$  na kapacitě paralelního kondenzátoru pro danou maximální kapacitu varikapu  $C_{D\max}$  u přijímače SV s ohledem na chybu vzniklé při tríbodovém souběhu. Kmitočtový rozsah

$$f_1 = 510 \text{ kHz},$$

$$f_2 = 1620 \text{ kHz},$$

$$f_{ml} = 460 \text{ kHz}$$

Ladění varikapu v pásmu KV přináší další problémy, jako je velká citlivost na změny ladícího napětí a větší útlum obvodu, proto je výhodné KV rozdělit na několik podrozsahů.

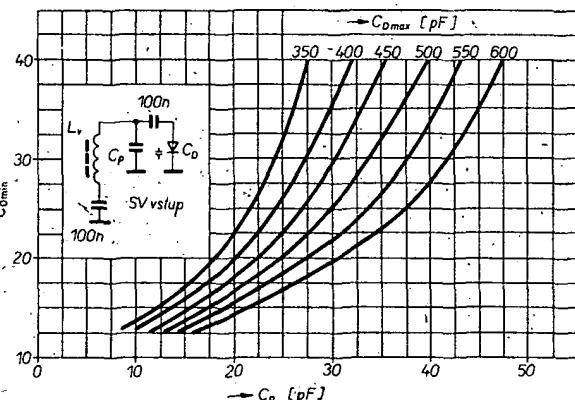
### Volba ladícího napětí

Při volbě rozsahu ladícího napětí varikapu musíme vzít do úvahy vlastnosti varikapu, které se při praktickém použití vyskytují, a někdy je nutné zvolit kompromis. Nelineární zkreslení, která vznikají v obvodu s varikapem, vznikají při konstantním zdvihu  $C_{D\max}/C_{D\min}$  při použití většího rozsahu ladícího napětí. Veličina  $\Psi$  závisí na charakteristice  $C(U)$  (viz rovnici (4)), popisuje v prvním přiblížení nelineární poměry na varikapu a pro exponenciální průběh kapacity varikapu podle rovnice (10b) je nepřímo úměrná  $U_{L\max} - U_{L\min}$ . Také u ostatních křivek závislosti  $C(U)$  je stejná nebo podobná závislost veličiny  $\Psi$  na rozsahu ladícího napětí. U varikapů, které jsou určeny pro napětí 20 až 30 V, lze snadněji dosáhnout minimální nelinearity. K získání potřebného dobré stabilizovaného ladícího napětí, z něhož je napájen ladící potenciometr, je zapotřebí napájecí napětí, které je aspoň o 1 V větší, než maximální ladící napětí. V autopřijímačích a přenosných přijímačích není běžně 30 V k dispozici, proto se používají měniče, které mají řadu nevýhod: dodatečné náklady, místo pro montáž, mohou způsobovat rušení harmonickými, které spadají do přijímaných rozsahů. Proto se dnes vyrábějí varikapy se závěrným napětím 8 až 9 V.

Minimální ladící napětí varikapu, které v každém případě musí být v rozsahu závěrného napětí varikapu, je určeno maximálně potřebnou kapacitou  $C_{D\max}$ . Odolnost vůči velkým signálům je lepší při větších napětcích, takže minimální ladící napětí je nutné volit co největší. Ladící napětí varikapu musí být nezávislé na napájecím napětí, neboť jeho změny vedou k rozložení přijímače. Pro přípustné rozložení  $\Delta f_p$  a strmost ladění  $df/dU_L$  přijímače platí pro přípustnou změnu  $(\Delta U_H/U_H)_p$  maximálního ladícího napětí  $U_H$ , kterým je napájen ladící potenciometr

$$\left(\frac{\Delta U_H}{U_H}\right)_p = \frac{\Delta f_p}{\frac{df}{dU_L} U_L}$$

Rozhodující je nejmenší poměr  $(\Delta U_H/U_H)_p$  v blízkosti horní hranice rozsahu ladícího napětí. Když jsou požadavky na „horní“ ladící napětí dány, je třeba uvést, že pro přípustné rozložení  $\Delta f = 1$  kHz je kritická minimální velikost  $(\Delta U_H/U_H)_p$ , např. při přibližně exponenciální křivce  $C_D(U)$  a středních vlnách v rozsahu  $10^{-3}$ , takže

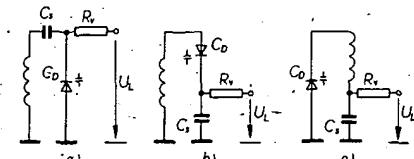


pro „horní“ napětí 8 V smí být změny  $\Delta U_H$  maximálně 8 mV. Při použití ADK mohou být tyto změny třikrát větší. Uvedené závěry neplatí pro kmitočtovou syntézu.

Požadavky na ladící napětí jsou tedy značné. Pro získání konstantního „horního“ ladícího napětí již nepostačí obvyklé Zenerovy diody ani běžné stabilizátory, používají se teplotně kompenzované Zenerovy diody nebo Zenerovy diody s termostatem. Teplotní závislost ladění přijímače není závislá jen na „horním“ ladícím napětí, ale na mnoha dalších činitelích, jako je teplotní závislost děliče napětí v ladícím agregátu, na kapacitě a indukčnosti oscilátoru a vstupního obvodu.

### Závěrný proud a oddělovací odpory

Aby napětí na varikapu nebylo zkratovalo cívou, musíme do kmitavého obvodu, jak je zřejmě z obr. 51, kromě varikapu zapojit i sériový kondenzátor  $C_s$ . Pevný sériový kondenzátor ve vstupním obvodu



Obr. 51. Různé kapem z hlediska způsoby zapojení přivedené ladícího paralelního kmitači napětí  $U_L$  přes oddělovací rezistor  $R$ .

má kapacitu mnohokrát větší než je  $C_{D\max}$ ; v oscilátorovém obvodu je srovnatelný nebo i menší než  $C_{D\max}$ . Místo pevného sériového kondenzátoru  $C_s$  je možné zapojit i druhý varikap, jak je to obvyklé u vstupních jednotek VKV. U přijímačů AM se to obvykle nedělá, neboť kapacita varikapu by musela být zejména pro střední a dlouhé vlny velmi velká, protože se při „dvoudiodovém“ ladění uplatňuje jen poloviční kapacita varikapu. Ladící napětí  $U_L$  je přivedeno do spoje varikap-sériový kondenzátor  $C_s$  přes předřadný rezistor  $R_v$ . Tento rezistor odděluje kmitavý obvod a zdroj ladícího napětí. Na jedné straně je nutné oddělit vý napětí nakmitané od přivedeného ladícího napětí, na druhé straně je třeba stejnou sladit s ladícím napětím spojit. Po přivedení ladícího napětí se mohou přenášet rušivá napětí, která se přištětou k ladícímu napětí a tak způsobují nežádoucí změnu kapacity varikapu. Odělení je závislé jak na odporu rezistoru  $R_v$ , tak i na kapacitě kondenzátoru  $C_s$ , který působí jako filtrační. Odpor  $R_v$  musíme volit tak, aby kmitavý obvod nebyl zbytečně zatlumen. Odpor rezistoru  $R_v$  je závislý i na použitém zapojení; na obr. 51 jsou jednotlivá základní zapojení. Při podmínce  $C_s > C_D$  bude  $R_v$  v zapojeních podle

obr. 51b a 51c relativně malý, neboť je zapojen paralelně k  $C_s$ . V zapojení podle obr. 51a je obvod poměrně citlivý na přetížení,  $R_v$  se transformuje do obvodu jako paralelní odpor  $R'_p$ , pro zapojení podle obr. 51a platí:

$$R'_{\text{p}} = R_{\text{v}} \left(1 + \frac{C_{\text{p}}}{C_{\text{s}}}\right)^2 \quad (19a)$$

pro obr. 51b, 51c je:

$$R'_{\text{p}} = R_{\text{v}} (1 + \frac{C_{\text{s}}}{C_{\text{p}}})^2 \quad (19b)$$

a pro jakost  $Q$  obvodu s rezistorem  $R_0$  platí

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{wCB'}} \quad (20),$$

kde  $Q_1$  je jakost pro  $R_V = \infty$  a  $C$  je činná kapacita obvodu. Bude-li výraz v závorce rovnice (19b) velký, bude  $R' \gg R_V$  a vliv  $R_V$  na kmitavý obvod můžeme zanedbat. Pro obr. 51a se výraz v závorce rovnice (19a) jen málo zvětšuje nad 1, takže jako  $R_V$  je nutno použít velký odpór (asi 100 k $\Omega$ ), aby obvod nebyl zatlumován. U oscilátorového obvodu, který je aktivním prvkem odtlumen, hraje vnější zatížení menší roli, přesto je vhodné jako  $R_V$  volit rezistor s velkým odporem.

Nezávisle na způsobu připojení vzniká na oddělovacím odporu  $R_1$  úbytek napětí, vyvolaný protékajícím závěrným proudem varikapu  $/R_1$

$$\Delta U_R = U_L - U_R = I_R R_v$$

o který je napětí na varikapu menší. Bude-li např.  $R_v = 100 \text{ k}\Omega$  a přípustná změna napětí  $\Delta U_{R0} = 8 \text{ mV}$ , pak závěrný proud  $i_R \equiv \frac{\Delta U_{R0}}{R_v} = 80 \text{ nA}$ . Vliv konstant-

ního závěrného proudu na ladění lze do určité míry kompenzovat nastavením; nejjednodušší je kolísání závěrného proudu  $I_R$ , které vzniká změnami teploty, neboť jeho účinek nelze nastavením zmenšit. Tento vliv je nutno vzít v úvahu při návrhu teplotní kompenzace. Zde uvedené rozdálení závěrným proudem varikapu se uplatňuje jak ve vstupním, tak i v oscilátorovém obvodu; pro stejný úbytek  $\Delta U_R$  je tato změna horší v oscilátorovém obvodu, neboť signál oscilátoru spolu se vstupním signálem vytváří mf signál a následný mf filtr je vždy „užší“ než vstupní obvod.

Rozladění obvodu může také způsobit při nelineární napěťové závislosti diodového proudu to, že usměrní signál, čímž

vznikne dodatečný proud, který úbytkem napětí na  $R$ , změní podstatně ladící napětí. Tento jev nastává při malém a velkém závěrném napětí, při nichž závislost závěrného proudu varikapu na závěrném napětí je největší a při velkém oscilátorovém napětí působí rušivě. Z toho důvodu je proto výhodné zejména na dolní a horní mezi ladícího napětí udržovat amplitudu oscilátorového napětí co nejmenší.

Oddělovací odpor  $R$  musí být z hlediska zatěžování obvodu co největší a s ohledem na rozložování způsobené závěrným proudem varikapu co nejmenší. Proto je nutné volit vhodný kompromis. Když  $C_s > C_D$ , tedy u většiny vstupních obvodů, pak raději používáme zapojení podle obr. 51b, 51c; než zapojení podle obr. 51a neboť se mohou lépe splnit jakostní požadavky na obvod.

### Sériový odpor varikapu

V náhradním zapojení varikapu je kromě kapacity  $C_D$  ještě sériový odpor  $r_D$ , který je tvořen složkou závislou na závěrném napětí a složkou napěťové nezávislou. Sériový odpor  $r_D$  (který je do několika MHz jen málo závislý na kmitočtu) vyvolává dodatečný útlum obvodu s varikapem. Vliv varikapu na útlum obvodu se dá vyjádřit jakostí varikapu

$$Q_D = 1 : \omega C_D \sigma_D \quad (22)$$

Pro jákost kmitavého obvodu platí přibližně  $(C_p \ll C_D, C_s \gg C_D)$

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_D}} = \frac{Q_0}{1 + Q_0 \omega_D C_0 \sigma_0} \quad (23)$$

kde  $Q_0$  je jakost kmitavého obvodu při  $r_0 = 0$  a  $\omega_0$  je jeho rezonanční kmitočet. Největší útlum obvodu varikapem je způsoben na dolním konci pásma, kde je  $r_0$  největší. Z rovnice (23) můžeme spočítat příspěvek sériový odpor  $r_0$  při zadaných  $Q_0$  a  $Q$ :

$$r_D = \frac{Q_0 - Q}{Q} \frac{1}{Q_0 C_{D0}} = \frac{\Delta Q}{Q} \frac{1}{Q_0 C_{D0}} \quad (23a)$$

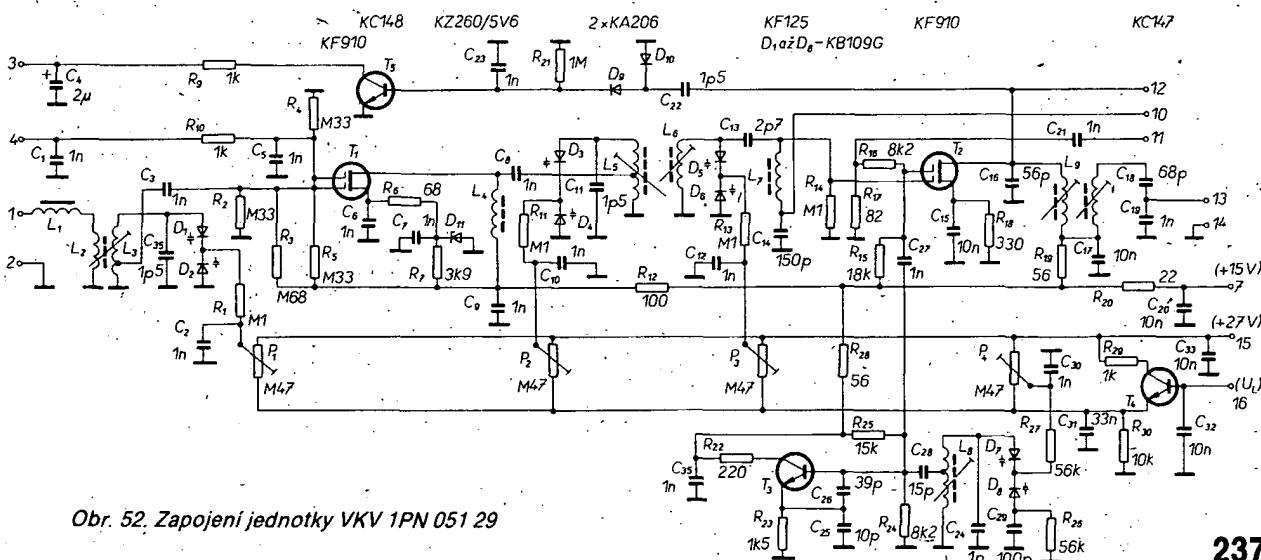
Bude-li např.  $Q_0 = 80$  a změna jakosti  $\Delta Q : Q = 0,5$  (jakost obvodu  $Q$  se zmenší vlivem varikapu z 80 na 5, šířka pásmu na dolním konci středovlnného rozsahu bude 10 kHz), pak přípustný sériový od-

por na dolním konci středních vln ( $f = 520$  kHz,  $C_D = 500$  pF) bude  $r_D \approx 3,8 \Omega$  a v pásmu 49 m ( $f = 6$  MHz,  $C_D = 500$  pF)  $r_D \approx 0,3 \Omega$ . Jakost obvodu kolem 50 u vstupního obvodu středních a krátkých vln je běžná a obvykle s ní počítáme. Dodatečný útlum vyvolaný sériovým odporem varikapu  $r_0 \gg 1 \Omega$  má malý vliv na vstupní středovlnný obvod, kdežto velký vliv na krátkovlnný vstupní obvod. To platí pro  $C_s \gg C_D$ , tedy pro ladění ve velkém rozsahu. Omezíme-li ladění na dílčí rozsahy, např. 49 m v krátkovlnném rozsahu, můžeme zmenšit  $C_s$  a tak vliv varikapu na kmitající obvod.

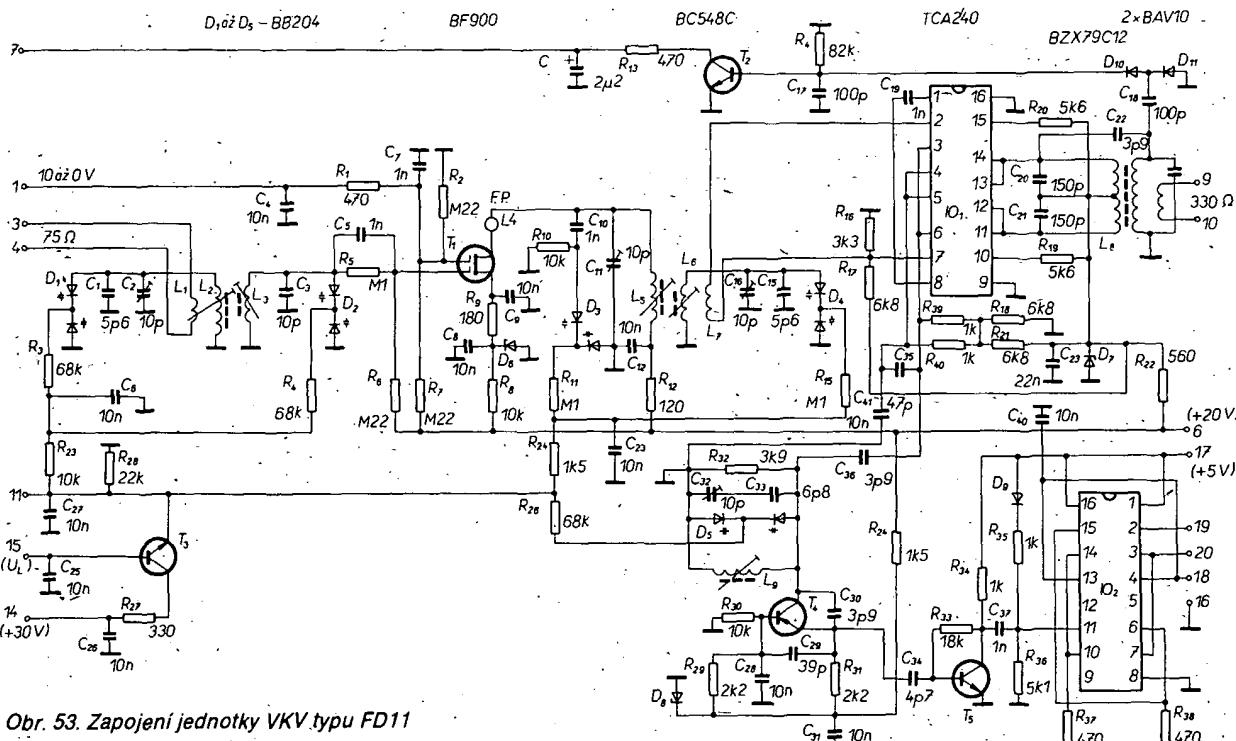
Abýchom zabránili vzniku intermodulační a nelineárního zkreslení, nesmí být na varikapu  $vf$  napětí velké amplitudy. Pro varikap BB212 je maximální efektivní  $vf$  napětí při minimálním ladicím napětí 200 mV a při středních a velkých ladicích napětích 400 mV. Pro varikap KB113 je přípustné mezihradlové  $vf$  napětí při  $U_L = 1$  V, asi 800 mV, pro  $U_L = 5$  V 2,8 V a pro  $U_L = 19,5$  V 17 V.

### **Vstupní jednotka VKV**

Na obr. 52 je zapojení nové jednotky VKV TESLA Bratislava se dvěma „dvoubázovými“ tranzistory MOSFET KF910. Vstupní signál je přes  $L_1$ , veden na vstupní laděný obvod  $L_2-L_3-C_{35}-D_2$  a z něho přes  $C_3$ , na první řídici elektrodu  $T_1$ , jejíž předpětí je nastaveno děličem  $R_2$ ,  $R_3$ . Předpětí pro druhou řídici elektrodu je nastaveno děličem  $R_4-R_5$ , střídavě je  $G_2$  uzemněna přes  $C_5$ . Přes  $R_8$  je do  $G_2$  přiváděno napětí AVC, kterým se reguluje zisk  $T_1$ . Aby nemohlo být v žádném případě tranzistor zničen, je emitor  $T_1$  napájen s děličem  $R_2-D_1$ , přes  $R_6$ . Stejnosměrně je  $T_1$  napájen do kolektoru přes  $L_4$ . Výstupní signál z  $T_1$  je veden přes  $C_8-R_{10}$  na primární vinutí pásmové propusti  $L_5-C_{11}-D_3-D_4$ , které je infukčně vázáné se sekundárním vinutím  $L_6-D_5-D_6$ . Z něj je signál veden přes  $C_{13}$  na  $G_1$ ,  $T_2$ , jejíž předpětí je nastaveno  $R_{14}$ . Na  $G_2$ ,  $T_2$  je přes  $C_{27}$  přiveden signál oscilátoru. Předpětí pro  $G_2$ ,  $T_2$  je nastaveno děličem  $R_{15}-R_{16}-R_{17}$ . Ze spoje  $R_{16}-R_{17}$  je oscilační napětí vedené přes  $C_{21}$  na konektor a je ho možné použít pro digitální stupnice. Emitor  $T_2$  má malé předpětí ( $R_{18}$ ). Cívka  $L_7$  v  $G_1$  tranzistoru  $T_2$  je spolu s  $C_{14}$  naladěna na 10,7 MHz („odlaďovač“). V kolektoru  $T_2$  je zapojeno primární vinutí mf pásmové propusti  $L_9-C_{16}$ . Z něj je část napětí vedená přes  $C_{22}$  na zdvojovávač napětí  $D_9$ ,  $D_{10}$  a dále je stejnosměrným napětím řízen zesilovač



Obr. 52. Zapojení jednotky VKV 1PN 051 29



Obr. 53. Zapojení jednotky VKV typu FD11

AVC s  $T_5$ . Z kolektoru je napětí- $AVC$  přes  $R_9$  vedeno na konektor. Rezistor  $R_9$  je možné propojit s  $R_{10}$ . Sekundární vinutí mf filtru je vázáno indukčně s primárním vinutím a  $L_{10}C_{18}C_{19}$  rezonují na 10,7 MHz. Ze spoje  $C_{18}C_{19}$  je signál veden na mf zesilovač. Oscilátor pracuje v zapojení s uzemněným kolektorem. Oscilační obvod  $L_8C_{24}D_7D_8C_{29}$  je přes  $C_{28}$  navázán do báze  $T_3$ . Potřebná zpětná vazba je zajištěna kondenzátory  $C_{20}C_{25}$ . Jako paddingový kondenzátor slouží  $C_{29}$ . Nedostatek dolaďovacích kondenzátorů vedl výrobce k dolaďování varikap, jejichž kapacita je korigována trimry  $P_1, P_2, P_3, P_4$ . Ladící napětí pro varikap je přivedeno do báze emitorového sledovače  $T_4$ . Použití trimrů pro dolaďování přináší i úsporu času pro přesné nastavování, neboť postup dolaďování stačí opakovat jen dvakrát.

Zapojení poloprofesionální jednotky FD11 pro jakostní přijímače je na obr. 53. Anténní signál je přes symetrický vstup  $75\Omega$  navázán indukčně na primární stranu pásmové propusti, čímž se zlepšuje selektivita celé jednotky VKV. Předzesilovač je osazen tranzistorem BF900, který je schopen zpracovávat i velké signály. Mezi předzesilovačem a směšovačem je druhá

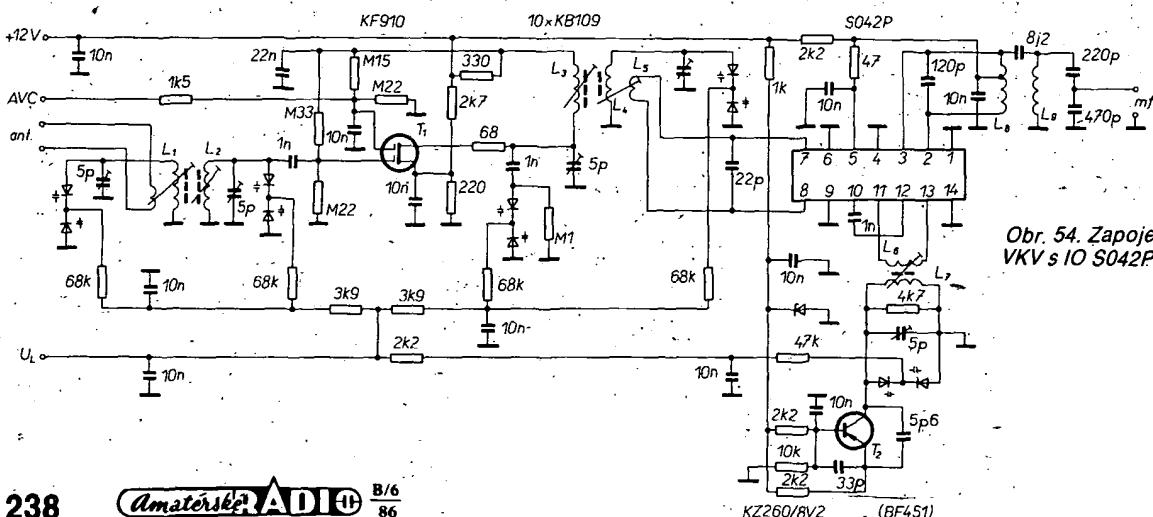
pásmová propust. Feritová perla  $L_4$  je navlečena na kolektor BF900 a zamezuje zakmitávání na velmi vysokých kmitočtech, čímž se zlepšuje celková stabilita jednotky. Ve směšovači je použit IO TCA240, který je zapojen jako dvojity balanční směšovač. Na výstupu směšovače je mf pásmová propust s kritickou vazbou a výstupní impedancí  $300\Omega$ . V předzesilovači je možné regulovat zisk jednotky až o  $50$  dB a to ss napětím  $10$  až  $0$  V, přivedeným na  $G_2 T_1$ . Oscilátor je zapojen jako Clappův oscilátor, má velmi dobrou stabilitu. Stabilizátor  $D_8$  zmenšuje vliv napájecího napětí. Teplotní vliv cívek, tranzistoru, spojů na desce s plošnými spoji a kapacitních trimrů je vykompenzován teplotními součiniteli paralelních a sériových kondenzátorů a také kondenzátorem ve zpětné vazbě. Dřit varikapů je kompenzován emitorovým sledovačem  $T_3$ . Volnou vazbou oscilátoru na směšovač je dosaženo malé závislosti oscilačního kmitočtu na amplitudě vstupního signálu. Na sekundární stranu mf pásmové propusti je připojen zdvojovaný napětí, kterým je řízen tranzistor pro vnitřní regulaci  $AVC$ . Spojením vývodů 1 a 7 na konektor jednotky VKV nasadí regulace  $AVC$  při

vstupním signálu  $65$  dB  $\mu$ V a výstupní napětí bude téměř konstantní až do úrovně  $115$  dB  $\mu$ V vstupního signálu. Není-li zapojen vývod 1, pracuje FD11 s maximálním ziskem. V FD11 je vestavěn dělič kmitočtu 1:4, z něhož může být napájena digitální stupnice nebo syntezátor. FD11 má zisk 36 až  $40$  dB, šumové číslo 4,8 až  $6$  dB a potlačení nežádoucích signálů minimálně  $80$  dB. Výstupní mezivrhlové napětí z děliče kmitočtu je  $650$  mV na impedanci  $470\Omega$ .

Na obr. 54 je zapojení jednotky VKV, u níž je místo směšovače s TCA240 zapojen směšovač s SO42P (Siemens), který je možné nahradit IO UL1042N z PLR. Sekundární strana mf pásmové propusti je indukčně navázána přes  $L_5$  na vstup IO a signál oscilátoru je veden přes  $L_6$  do IO. Na výstupu IO je připojená mf pásmová propust.

Na obr. 55 je zapojení jednotky VKV s moderním IO TDA 1574 (Valvo). V IO je vestavěn dvojity balanční směšovač, oscilátor, obvod  $AVC$  a jednostupňový mf zesilovač. Použití balančních směšovačů přináší několik výhod:

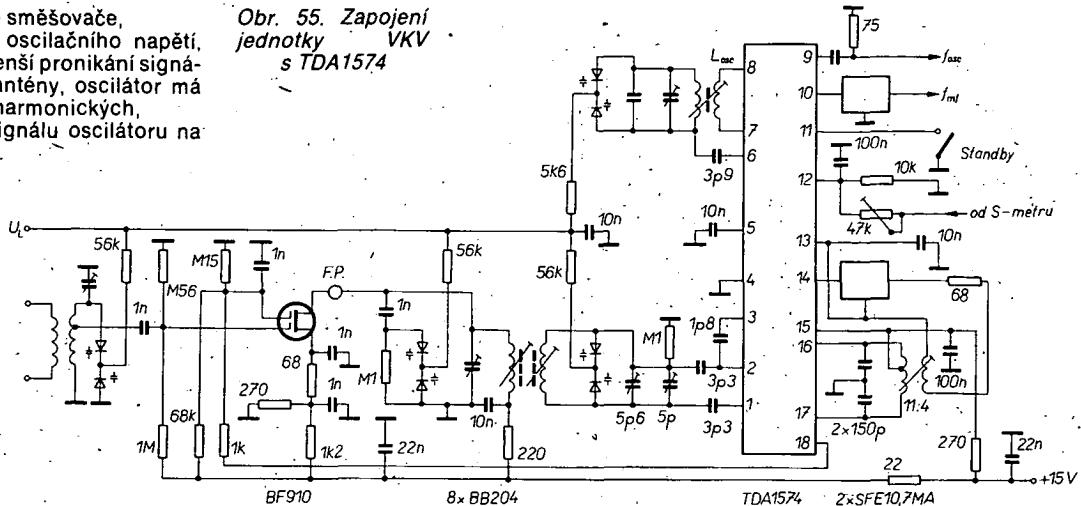
- dobré potlačení signálu mf kmitočtu na



Obr. 54. Zapojení jednotky VKV s IO SO42P (UL1042N)

vstupu balančního směšovače, potřebu menšího oscilačního napětí, z čehož vyplývá menší pronikání signálu oscilátoru do antény, oscilátor má pak málo vyšších harmonických, dobré potlačení signálu oscilátoru na vstupu směšovače.

Obr. 55. Zapojení jednotky VKV s TDA1574



né a při rozdílných kapacitách ladícího kondenzátoru změřené kapacity oscilátorové sekce ladícího kondenzátoru

$$C_p = \frac{K' C' B - C' A}{A - K' B}$$

Dále si spočítáme cívku oscilátoru

$$L_{o1} = \frac{1}{C_{o1} - C_{os}} \left( \frac{1}{\omega_{os}^2} - \frac{1}{\omega_{o1}^2} \right)$$

$$L_{o2} = \frac{1}{C_{os} - C_{o2}} \left( \frac{1}{\omega_{os}^2} - \frac{1}{\omega_{o2}^2} \right)$$

a indukčnost oscilátorové cívky bude:

$$L_o = \frac{L_{o1} + L_{o2}}{2}$$

Celková dolaďovací kapacita oscilátorového obvodu:

$$C_{oos} = 1 : \omega_{o1}^2 L_o, C_{oos} = 1 : \omega_{o2}^2 L_o$$

a skutečná dolaďovací kapacita bude:

$$C_{ot} = \frac{C_{o1} + C_{os} + C_{o2}}{3}$$

## INZERCE



Inzerci přijímá osobně a poštou Vydavatelství Naše vojsko, inzertní oddělení (inzerce AR), Vladislavova 26, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-9, linka 294. Uzávěrka tohoto čísla byla dne 19. 9. 1986, do kdy jsme museli obdržet úhradu za inzerát. Neopomněte uvést prodejní cenu, jinak inzerát neuveřejníme. Text inzerátu pište čitelně, aby se předešlo chybám vznikajícím z nečitelnosti předloh.

### PRODEJ

**SONY** receiver 2x 35 W (3900), tuner - RK 83 (290), TV zosilovač 2x BFR (290), 4 ks žárovky 15 W Lila (à 25), 4 ks MH7489 (a 30), 5 ks doska spín. tr. (asi 40 ks) (à 25). V. Račanský, Nábrežná 14, 851 01 Bratislava.

**MP 80-40A**, tp. 1,5 (150), tah. p. 2x 22kN miniat., líc. Hitachi, 10 ks (400), KFY34 5 ks (à 13), 20 m CuL 2,0 (60). Koupím 4x ARO 6608, TC 215 M15 a M68. J. Prchal, Gollova 10, 460 01 Liberec IV.

**TI 58C** bezchybná, málo používaná, s přísl. a orig. + CS návodem (2400). M. Lapka, Vít. února 642, 708 00 Ostrava.

**MDA2020** váčše množstvo (32). Lad. Szilágyi, Bernolákovu nám. 30, 940 01 Nové Zámky.

**Aparatura COMBO** git. 50 W kop. DYNACORD

(3000), equalizér 9 pásiem s otoč. pot. (1000), nedokonč. guitarový syntetizér (AR 1/86) chybá len MHB4066 + 4 ks 1458 (1000), Zos. TW 120 (800), čas. rele RTs-61, 0,3 s až 60 h (900). Pavol Macko, SNP 315, 059 38 Štrba.

**České překlady manuálů** TI-59, HP-41C, Spectrum 48 Kb + přísl., Turbo Pascal, CP/M (70, 140, 220, 190, 80). A. Levová, Bezručova 33, 352 01 Aš.

**Konc. zes.** TW 120 - 2x 60 W (1200). Ing. Stanislav Staněk, 690 02 Nikolčice 132.

**BF900**, BFR90, BFR91, BFR96, BC161 (90, 80, 90, 130, 140). H. Dvořáková, 53371 Choltice č. 69.

**ZX 81** + 16 K RAM (2400 + 1200), Sord M5 + Basic I (5900), český výpis ROM Spectrum, ZX'81 (100, 50), I2716, I8085 (120, 200) a jiné. Opravím Spectrum. Ing. V. Daněček, Kochmanova 383, 109 00 Praha 10.

**CE 121** pro PC 1211 (600). M. Kaplan, 5. května 39, 140 00 Praha 4.

**ZX - 81** + 16 Kb RAM, nová klávesnice, jemná grafika, originál i český manuál, výpis ROM, mnoho programů (5000). I. Horská, Ježková 3, 130 00 Praha 3, tel. 27 39 804.

**Reprobedny** 4 Ω, 120 l, osazení ARO 835, ARO 667, ART 481, černá koženka (2500). L. Holeček, U dnužstva Repo 8, 140 00 Praha 4.

**AR A 55-84**, AR B 76-81 (65, 35) i jednotlivě. K. Urban, Výžlovská 50, 100 00 Praha 10.

**SHF GaAs** Mosfet pro 12 GHz, šum 2,0 dB (2400). J. Novák, Nuselská 24, 140 00 Praha 4.

**Amat.** mono string synt. mech. nedok. + klávesy + schéma (500), generátor větrů (50), mgf ZK 120 na souč. (50), pl. spoje S 203-4, P 220-2, K 20, N 07 (50 % ceny), různé IO, TR a j. Seznam zašlu. J. Vojášek, Okružní 695, 360 17 Karl. Vary 17.

**REVOX B 77** čtvrtstopý 9/19 (28 500). Milos Zajdl, Pařížská 12, 110 00 Praha 1.

**ATARI 130 XE** 128Kb RAM + Datarecorder XC 12 + zdroj, manuál něm. (19 800), interface 1 + 2, joystick pro Spectrum (5000), elektronkový voltmetr (100), PU 120 (200), univ. měř. přístroj SSSR (400), IO 2764-250, 4116-200, 4164-200, 6116-200, Z80A CPU (450, 240, 290, 400, 310). V. Linhart, Ostrovská 7, 360 10 K. Vary, tel. 449 25.

**Měř.** přístroj Vielfachmesser III (900). Koupím ARN 6604. J. Klein, Sídliště 593, 664 61 Rajhrad.

**Dynamické paměti** 64 Kb typ M5K 4164 AND, 10 ks (1000). V. Hort, Kroupova 8, 625 00 Brno.

**ZX Spectrum PLUS** - nový/nepoužitý, originál, balení (7500). T. Tůmová, V. Cibulkách 9, 150 00 Praha 5-Košíře.

**IFK 120** 4 ks (à 90). Ing. Josef Kůra, Konrádova 11, 628 00 Brno.

**Cuprexlit** (dm<sup>2</sup> 5 jednostr., 8 oboustr.). M. Lhotský, Gottwaldova 470, 431 51, Klášterec n. O.

**Barevný** TVP C-401 (2000), slabá obrazovka. Ing. B. Lacina, Svatoplukovská 1693, 756 61 Rožnov p. R.

**BTF66** (140), BFR90 (80), BFR91 (90), BF981 (65), BF 960 (60), BFY90 (60), SFE10, 7 (65). J. Šimá, Miškovecká 5, 040 01 Košice.

**Výbojky** na blesk, stroboskop aj. zábleskové efekty - vše nové - IFK 120 (à 100), tranzistory GT313A (a 8), GT346 A, B (à 15, 10), BFR90 (à 90), BF960 - 800 MHz (à 85). Koupím RX Globephone 8008 DX nebo jiný podob. kom. RX jen nový nebo zánovní. A. Chládková, Belojanisova 2, 787 01 Šumperk.

**RA 1930-64**, B 74-85 (3-4), Eltechnik 68-85 (2). Č. p. Baudyš váz. (200) a jiné odb. publikace - levně. Wattm. 1800 W - 120 - 240 - 380 V, mA 0,06 - 0,24 - 0,6 - 2,4 - 12 - 60 mA.

**Omega II** (600). Cu smalt. hed. bav. Ø 0,01 - 0,10 - 0,15 - 0,18 - 0,2 - 0,25 - 0,3 - 0,55. Stará Cu 12 x 3,5 - 20 x 1,5 mm. Cekas Ø 0,12, trafo 2000-W/24 - 220-V. Elektronky RGN1064 - RV12P400 - RL12P10 - AZ12, EFM11 - ECH11 - RG12D60 - RV2, 4P70 (à 10). Koupím RV12P2000. Havelka Fr., 294 71 Benátky n. J. I 140, tel. 91 61 43.

### KOUPĚ

**Tiskárnu** pro ZX Spectrum - Seikosha, Epson, popř. jinou, 8255, LED obdělníkové, ICL, ICM. R. Staffa, Úvoz 13, 602 00 Brno.

**Programy** na ATARI 800 XL popř. vyměním. Miroslav Steiner, Říjns. revoluce 798, 334 41 Dobřany.

**AR B4/85**, AR A11/68, 1/71, 1/74. J. Zumr, Rudé armády 369, 289 22 Lysá n. Labem.

**IO** typu SO42P, SAA1070, SAA1058, SDA5680A. Rozuměj. V. Čada, Okrajová 41/1414, 736 01 Havířov Bludovice.

**Basic G** (max. 1200), EM-5 (32 Kb paměť - cenu respektuji) na Sord M5. Ing. Žák Pavel, Kuldova 13, 615 00 Brno.

**Spectrum** 48 Kb, MH7400, 04, 86, 96, KA501, 226, KT505, 714. A. Levová, Bezručova 33, 352 01 Aš.

**A225D**, BF910, 4 Kb 1096, SO42P, nehrané kazety CC, hifi sluchátka. Jan Fiala, Gagarinova 502, 674 01 Třebíč.

**Tiskárna** pro ZX - 81, normal papír, paměť 16 Kb a 32 nebo 64 Kb. J. Procházka, Jánského 14, 772 00 Olomouc.

**UAA170**, C520D, A277D. Káňa V., 735 41 Petřvald 1369.

**Trafo** síťové, zosilovače Mono 50. Jar. Foukal, 687 54 Bánov u Uh. Brodu 596.

### VÝMĚNA

**Osciloskop** BM 430 se všemi zásuvnými jednotkami za počítač Spectrum + nebo Atari 800, 130 nebo prodám. Prodám kameru prům. TV (3100). I. Jarošová, Švédská 35, 150 00 Praha 5.

### RŮZNÉ

Plánek ke Cassette deck Grundig CN 1000 Super-HiFi, kdo zapůjčí? Spěchá - vrátím. R. Saňák, Koněvova 212/48, 130 00 Praha 3.

**Zaujímá** Vás družicový příjem? Poradím, pomôžem. Ing. Ján Luterán, Prostejovská 7, 080 01 Prešov, tel. 489 40.

Skupina „Tenké vrstvy“ u FVS JČMF pořádá ve dnech 21. až 25. 4. 1987

## 6. čs. konference o tenkých vrstvách.

Tématika konference je zaměřena na

1. metody přípravy a technologie tenkých vrstev,
2. fyzikální vlastnosti a diagnostiku tenkých vrstev,
3. nové aplikace tenkých vrstev.

### Přihlášky a informace podává

Marta Šimečková  
FZU ČSAV  
Na Slovance 2  
180 40 Praha 8

tel. 35 42 41 až 9, I. 93